

Drivers climatiques large-échelle de la variabilité basse fréquence des niveaux de nappes du bassin de la Seine

*Lisa BAULON^{1,2}, Nicolas MASSEI¹, Bastien DIEPPOIS³, Manuel FOSSA¹, Delphine ALLIER²,
Hélène BESSIERE², Matthieu FOURNIER¹, Kwok Pan CHUN⁴, Luminita DANAILA¹*

¹ Normandie Univ, UNIROUEN, UNICAEN, CNRS, M2C, 76000 Rouen, France

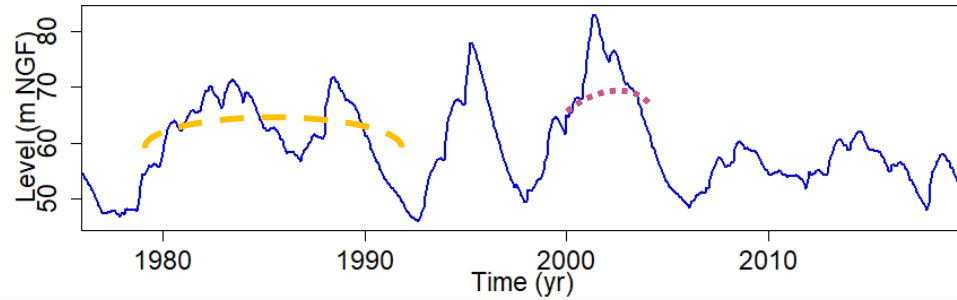
² BRGM, 3 av. C. Guillemin, 45060 Orleans Cedex 02, France

³ Centre for Agroecology, Water and Resilience (CAWR), Coventry University, UK

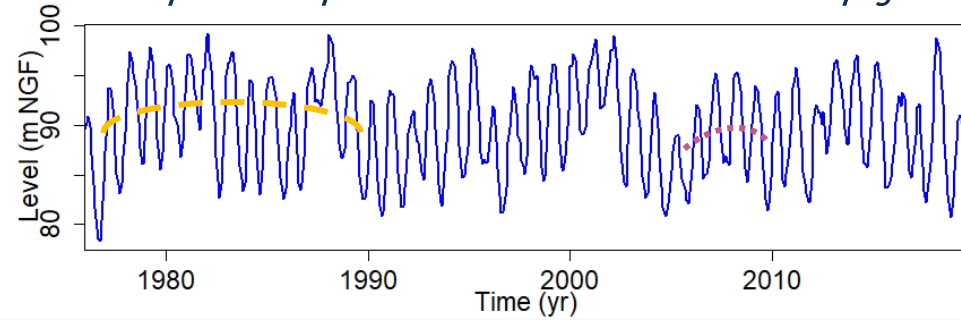
⁴ Department of Geography, Hong Kong Baptist University, Hong Kong

Contexte


Niveaux piézométriques – Craie du Séno-Turonien de Normandie



Niveaux piézométriques – Craie du Séno-Turonien de Champagne



 Variabilité interdécennale

 Variabilité interannuelle

Variabilité basse fréquence

Observée dans toutes les variables hydroclimatiques (débits, précipitation, niveaux piézométriques, évapotranspiration)

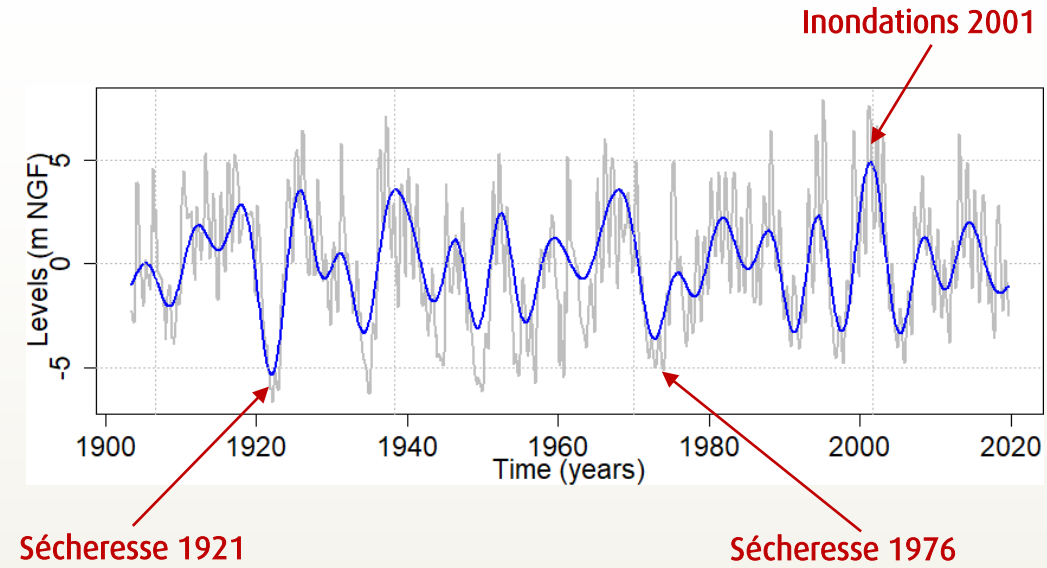
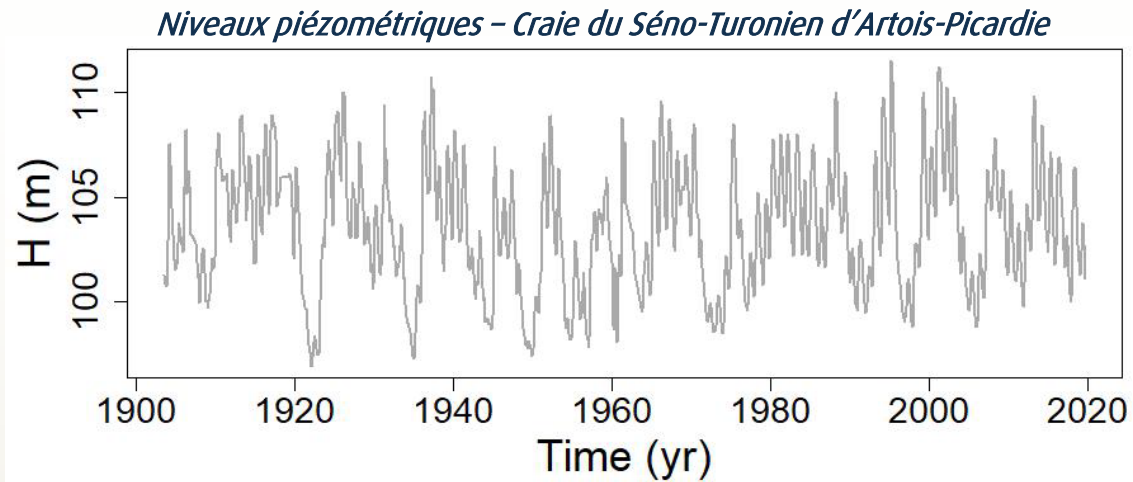
Induite par la circulation atmosphérique et océanique large-échelle

Massei et al. (2007, 2010, 2017); Dieppois et al. (2013, 2016); Boé et Habets (2014); Fossa (2020)

Proportion de variance expliquée par ces variabilités basses fréquences dépend des propriétés physiques des BV et aquifères

Slimani et al. (2009); El Janyani et al. (2012); Velasco et al. (2017); Schuite et al. (2019)

Contexte



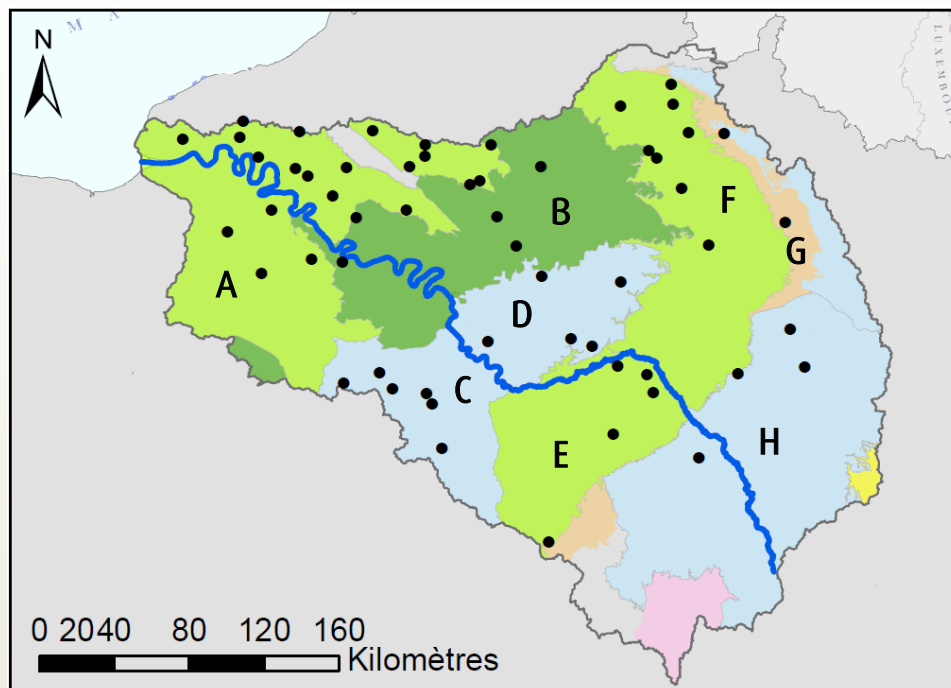
 Variabilité basse fréquence

La variabilité basse fréquence peut être partiellement, voire totalement, responsable de l'atteinte des hauts et bas niveaux piézométriques menant à des sécheresses hydrogéologiques et à des inondations par remontée de nappe (Baulon et al., 2022b).

- *Quels sont les drivers climatiques large-échelle de cette variabilité basse fréquence ?*

Données

Base de données de piézomètres peu influencés par les pompages (Baulon et al., 2020)



• Piézomètres sélectionnés

— Seine

□ Bassin_Seine

Secteur hydrogéologique

A Craie du Séno-Turonien de Normandie

B Sables et calcaires du Lutétien du BP

C Calcaires de Beauce

D Calcaires de l'Eocène du BP

E Craie du Turonien de Bourgogne

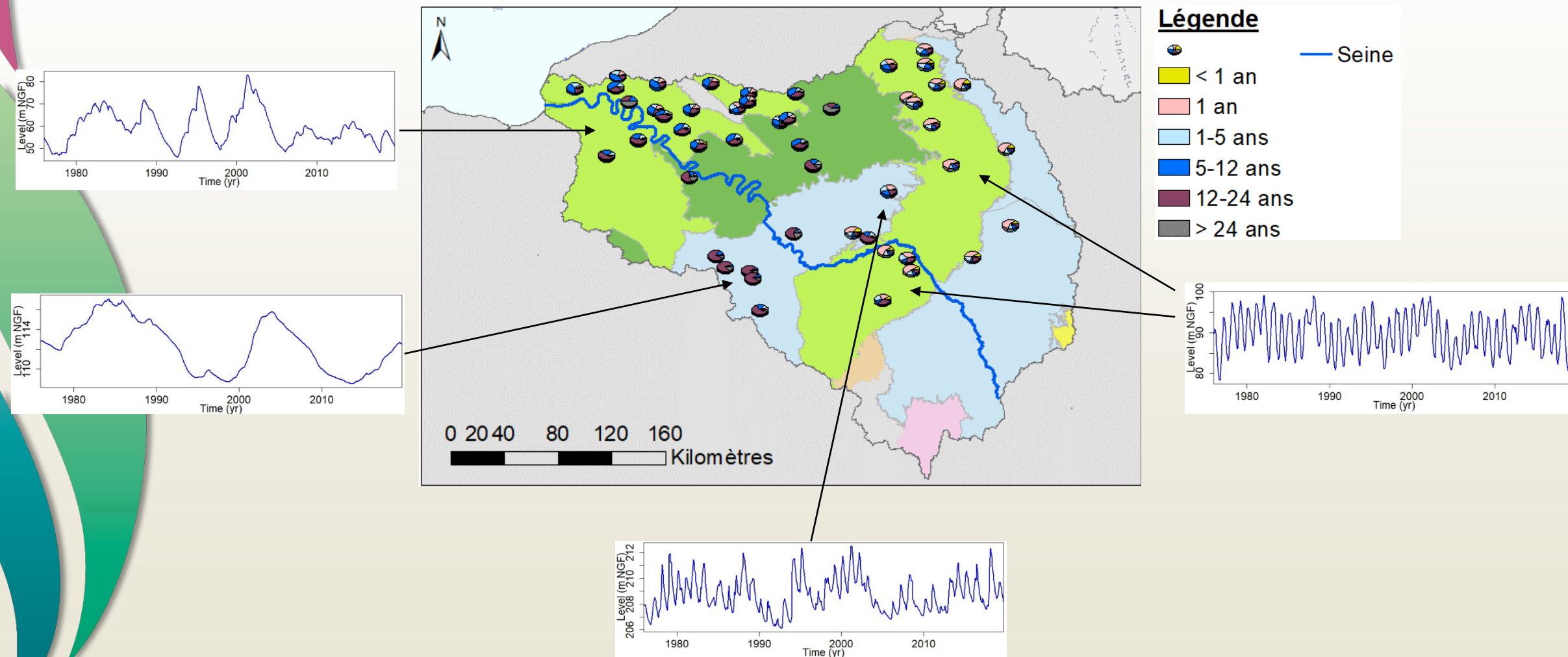
F Craie du Séno-Turonien de Champagne

G Sables de l'Albien

H Calcaires du Jurassique de la Côte-des-bars

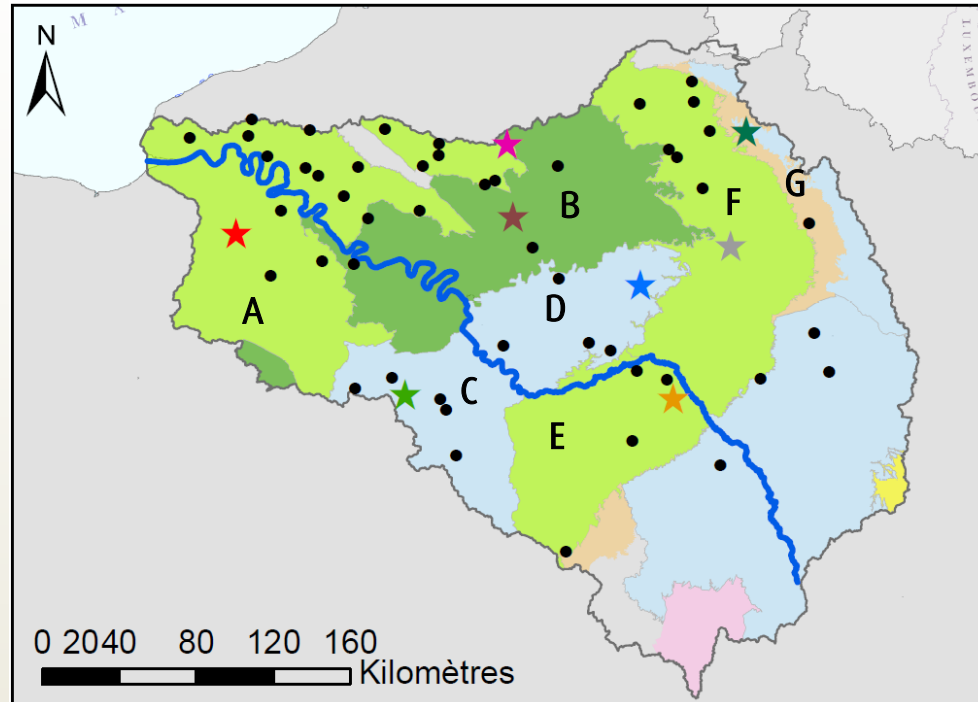
Données

Dynamiques piézométriques différentes d'un aquifère à l'autre (Baulon et al., 2020)



Données

1 chronique piézométrique par grande entité hydrogéologique du bassin de la Seine (1976-2019)



• Piézomètres sélectionnés

Piezomètres de l'étude

- ★ Cuvilly
- ★ Novion-Porcien
- ★ Fresnoy-Le-Luat
- ★ Goupillières
- ★ Grandes-Loges
- ★ Janvilliers
- ★ Thionville
- ★ Villieloup
- Seine
- Bassin_Seine

Secteur hydrogéologique

- A Craie du SN de Normandie
- B Sables et calcaires du Lutétien du BP
- C Calcaires de Beauce
- D Calcaires de l'Eocène du BP
- E Craie du Turonien de Bourgogne
- F Craie du SN de Champagne
- G Sables de l'Albien

+ Chroniques de précipitations associées (réanalyse SAFRAN – 1976-2019)

+ 1 longue chronique piézométrique (> 100 ans) hors du bassin de la Seine dans la craie d'Artois-Picardie (1903-2015)

Données

Réanalyses utilisées pour les variables large-échelle

Période 1976-2019 (Piézomètres du Bassin de la Seine)

Réanalyse NCEP/NCAR R1 (disponibilité temporelle : 1948-actuel)

Période 1903-2015 (Piézomètre du Bassin Artois-Picardie)

Réanalyse NOAA 20CR (disponibilité temporelle : 1836-2015)

Variables large-échelle

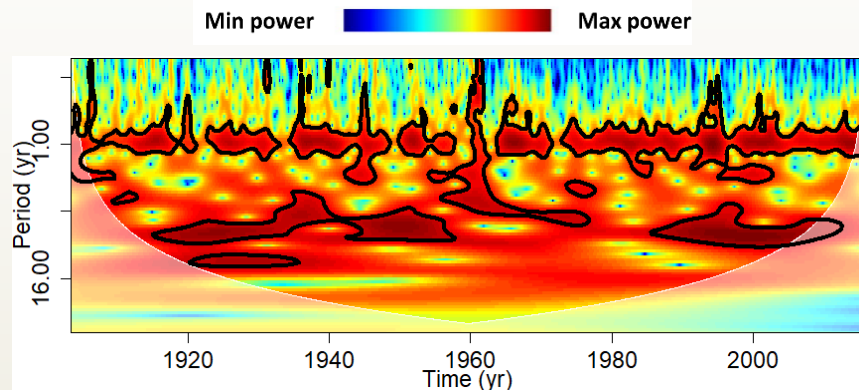
- *Z500* = hauteurs géopotentielles à 500mb → *Altitude à laquelle on retrouve la surface de 500mb.*
 - *U500* = composante zonal du vent à 500 mb
 - *V500* = composante méridionale du vent à 500mb
- } *Vecteurs vent*

500mb = Mi-atmosphère entre la circulation atmosphérique de surface (SLP) et d'altitude (Z200)

Méthodologie

Identification des variabilités basses fréquences dominantes dans le bassin de la Seine
Spectre moyenné en échelle

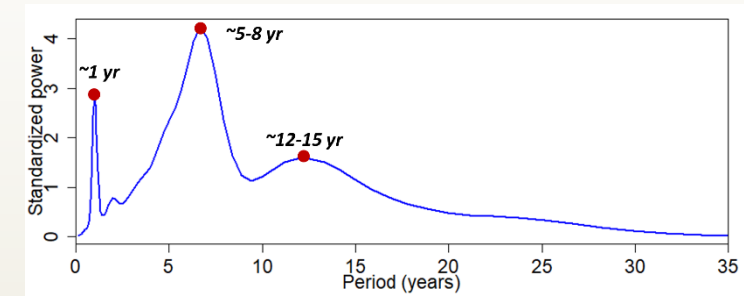
Transformée en ondelettes continue



Puissance spectrale = Variance



Spectre moyenné en échelle



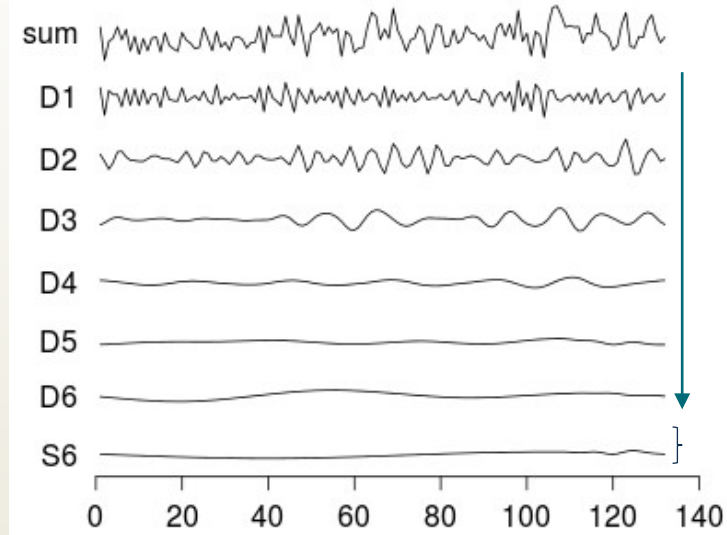
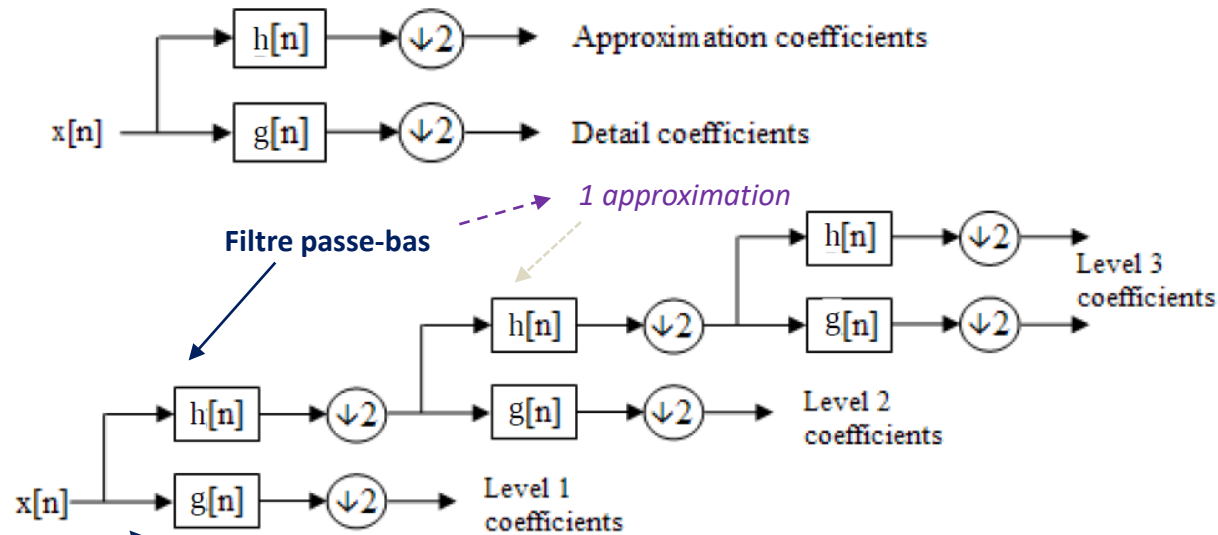
Moyenne de la puissance spectrale pour toutes les « périodicités »

Méthodologie

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites par niveau d'échelle

1- Décomposition de la variable locale et large échelle par transformée en ondelettes discrète par recouvrement maximal (modwt)



Signal total
(i.e. niveaux piézométriques)

Périodicité moyenne
Détails d'ondelettes

Dernière approximation

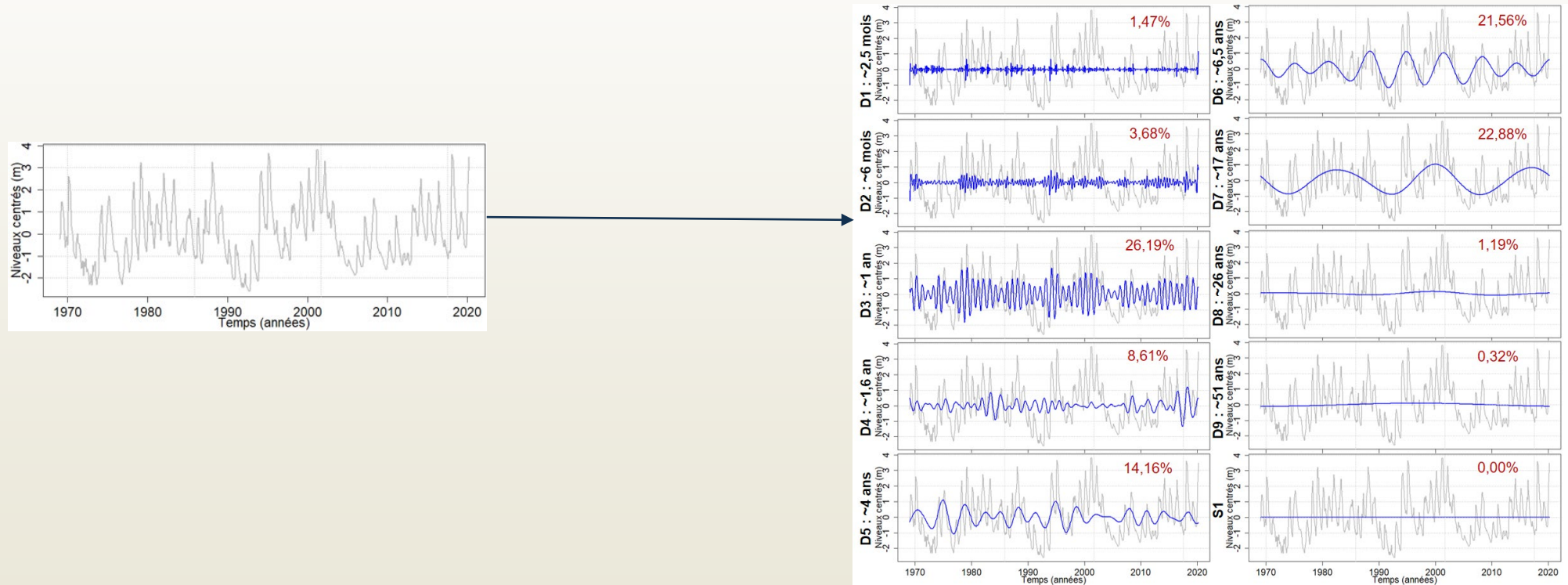
Méthodologie

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites par niveau d'échelle

1- Décomposition de la variable locale et large échelle par transformée en ondelettes discrète par recouvrement maximal (modwt)

Exemple pour la variable locale (chronique piézométrique de Janvilliers – Calcaires de l'Eocène du BP)



Même procédé pour chaque maille du champ atmosphérique (i.e. de la variable large-échelle)

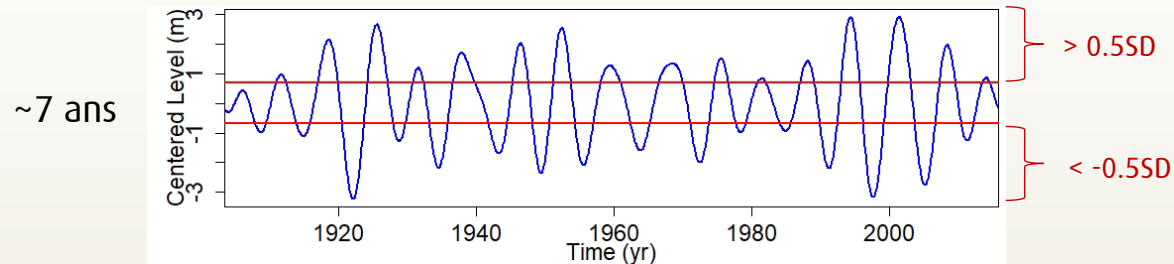
Méthodologie

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites par niveau d'échelle

2- Composite par niveau d'échelle

1- Identification des périodes pour lesquelles les valeurs de la composante de la variable locale (i.e. piézométrie) sont $>0.5SD$ et $<-0.5SD$



Pour la piézométrie, prise en compte d'un lag, calculé par CCF entre la pluie et la piézométrie.

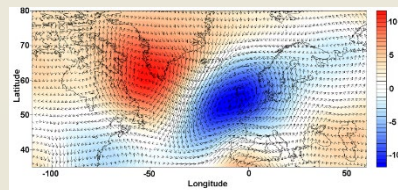
2- Extraction pour chaque maille du champ atmosphérique les valeurs correspondantes à ces périodes (pour la même composante)

2 ensembles de données à grande échelle :

- 1 correspondant aux valeurs large-échelle lorsque les valeurs de la composante basse fréquence de la variable locale sont supérieures à $+0.5SD$ (anomalies « humides »)
- 1 correspondant aux valeurs large-échelle lorsque les valeurs de la composante basse fréquence de la variable locale sont inférieures à $-0.5SD$ (anomalies « sèches »)

3- Différence pour chaque maille du champ atmosphérique entre les conditions humides et sèches.

4- Cartographie de cette différence pour chaque maille du champ = carte composite



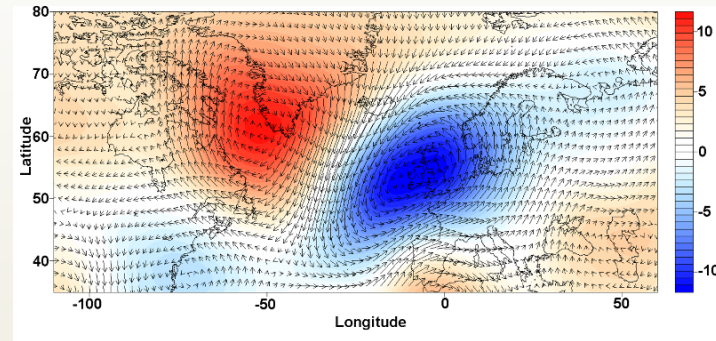
Méthodologie

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites par niveau d'échelle

2- Composite par niveau d'échelle

4- Cartographie de cette différence pour chaque maille du champ atmosphérique = carte composite



Rouge = « corrélation »

- les hauteurs géopotentielles sont hautes (conditions anticycloniques) quand les niveaux piézométriques sont hauts
- les hauteurs géopotentielles sont basses (conditions dépressionnaires) quand les niveaux piézométriques sont bas

Bleu = « anticorrélation »

- les hauteurs géopotentielles sont hautes (conditions anticycloniques) quand les niveaux piézométriques sont bas
- les hauteurs géopotentielles sont basses (conditions dépressionnaires) quand les niveaux piézométriques sont hauts

Méthodologie

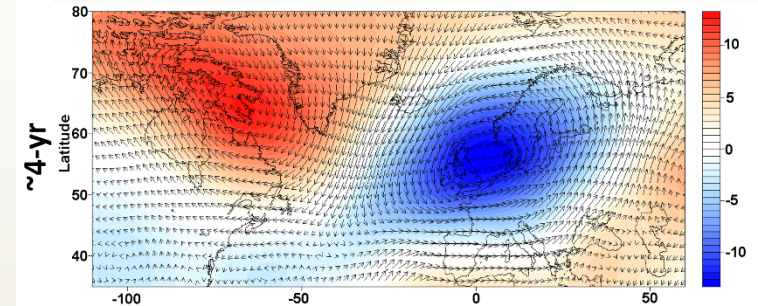
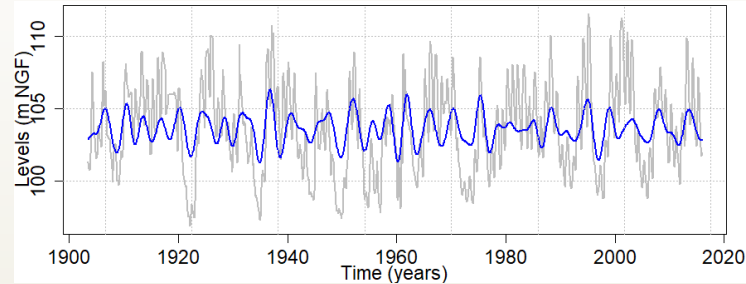
Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites par niveau d'échelle

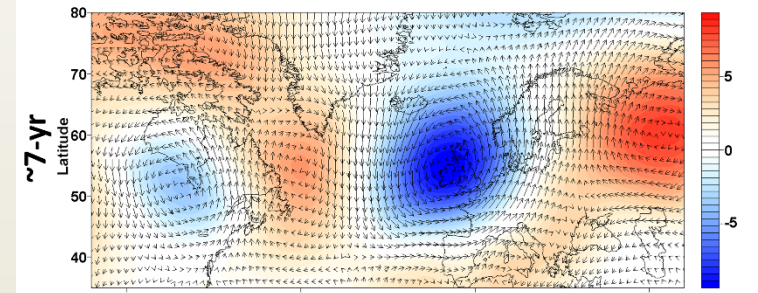
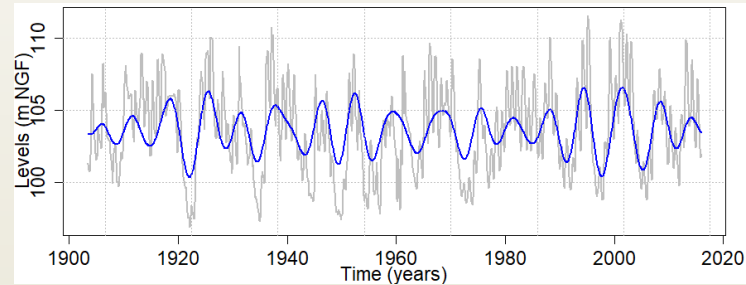
2- Composite par niveau d'échelle

Analyse faite pour chaque composante (i.e. variabilité) d'intérêt

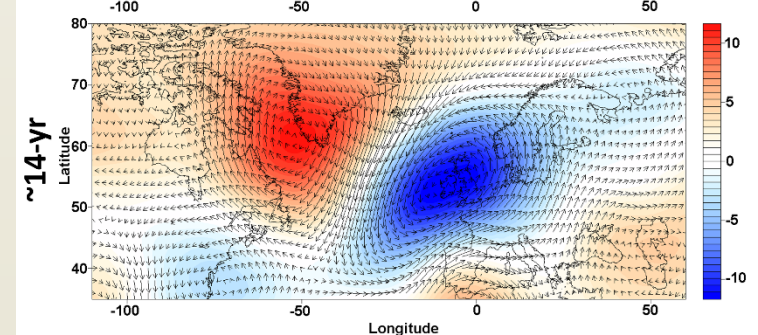
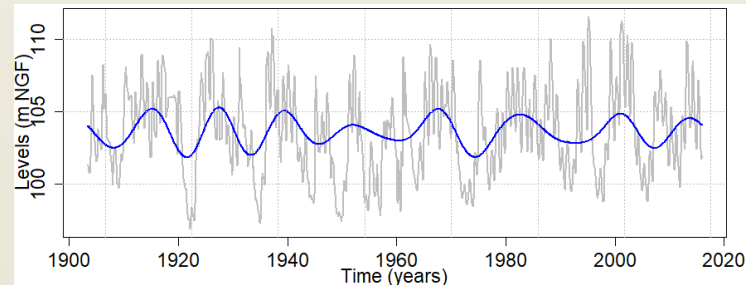
~ 4 ans



~ 7 ans



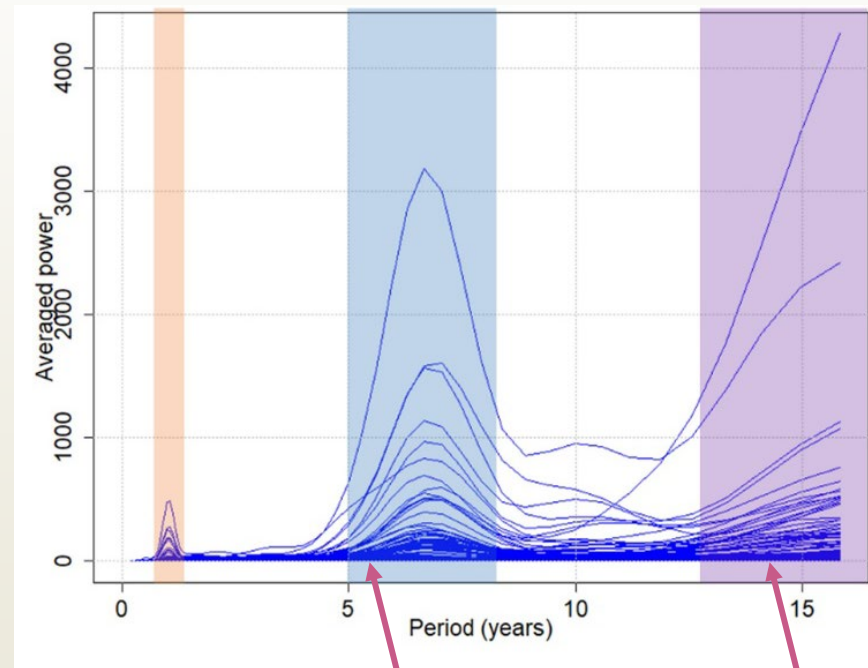
~ 14 ans



Résultats

Identification des variabilités basses fréquences dominantes dans le bassin de la Seine
Spectres moyennés en échelle

Superposition des spectres moyennés en échelle des piézomètres du bassin de la Seine



2 variabilités basses fréquences dominantes : ~7 ans et ~15 ans

=> On cherche donc les drivers climatiques de ces deux variabilités dominantes dans la piézométrie du bassin de la Seine.

Résultats

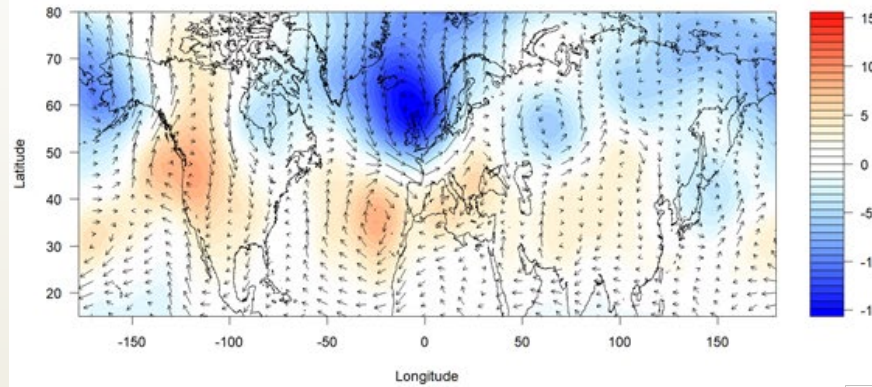
Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites Z500 par niveau d'échelle

Exemple pour le piézomètre de Goupillières (craie Normandie) et les précipitations SAFRAN correspondantes (maille 1060)

Précipitations

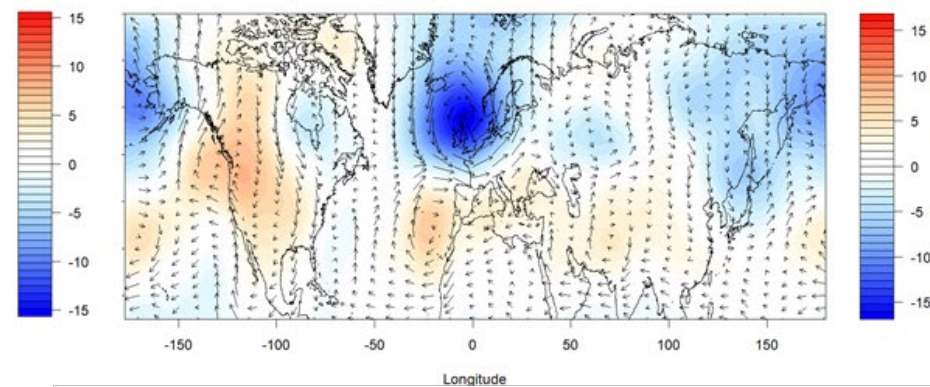
Maille 1060



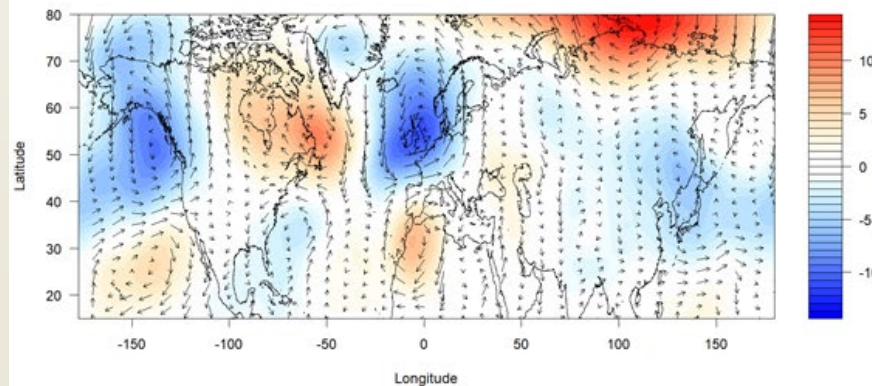
~7 ans

Piézométrie

Goupillières (Craie de Normandie)

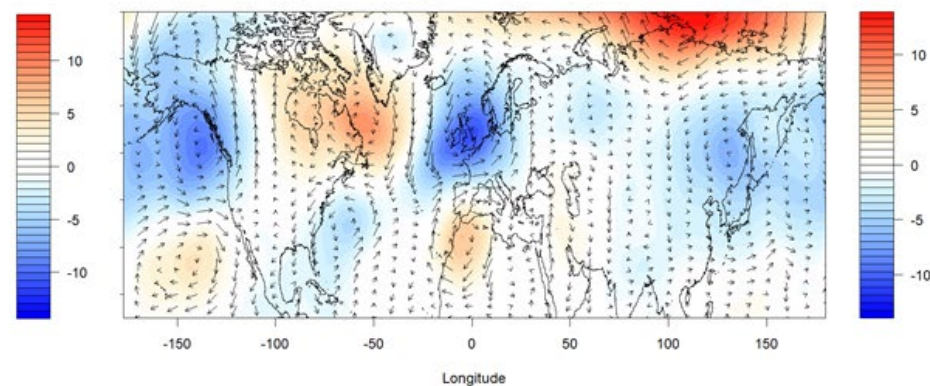


Maille 1060



~15 ans

Goupillières (Craie de Normandie)



Résultats

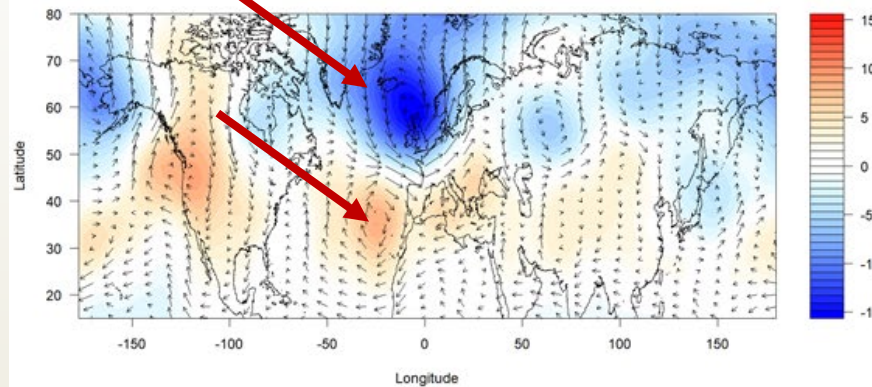
Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites Z500 par niveau d'échelle

Exemple pour le piézomètre de Goupillières (craie Normandie) et les précipitations SAFRAN correspondantes (maille 1060)

Précipitations

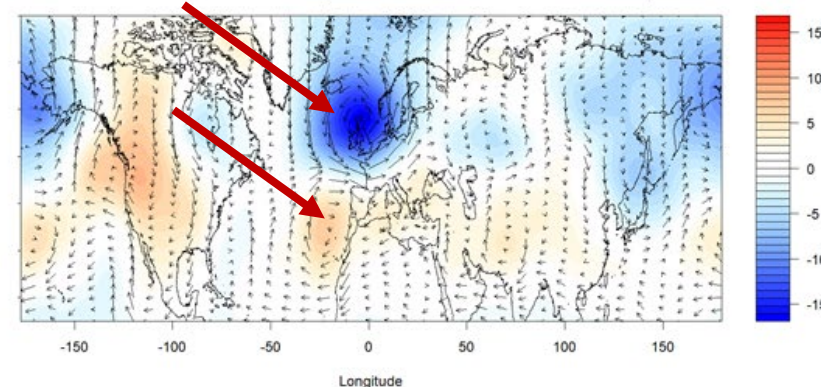
Maille 1060



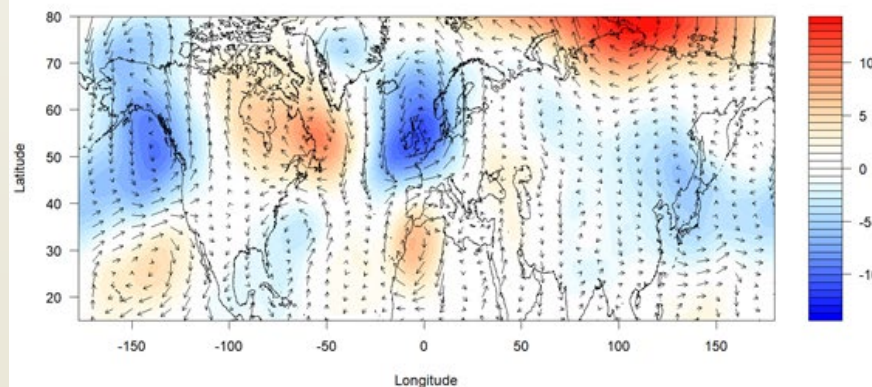
~7 ans

Piézométrie

Goupillières (Craie de Normandie)

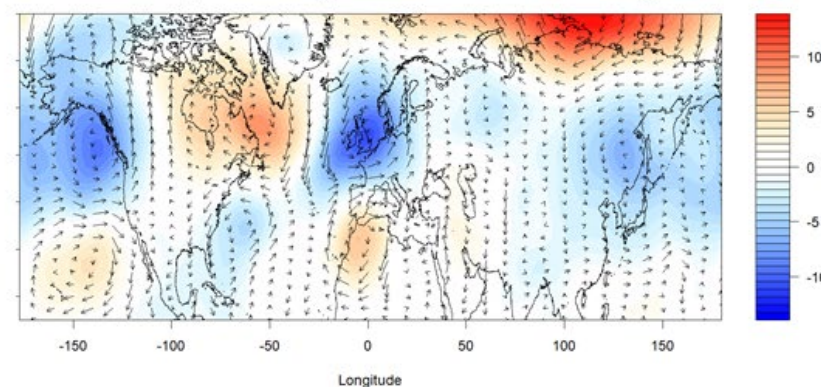


Maille 1060



~15 ans

Goupillières (Craie de Normandie)



Pattern ~NAO :

- 1 centre d'action au sud de l'Islande
- 1 centre d'action sur les Açores

Résultats

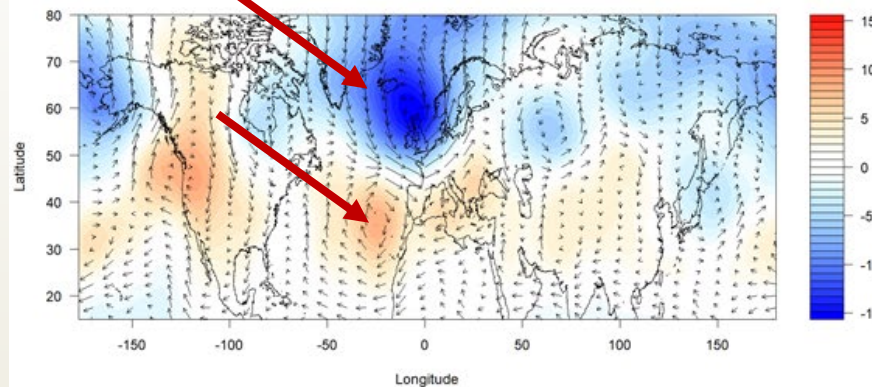
Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites Z500 par niveau d'échelle

Exemple pour le piézomètre de Goupillières (craie Normandie) et les précipitations SAFRAN correspondantes (maille 1060)

Précipitations

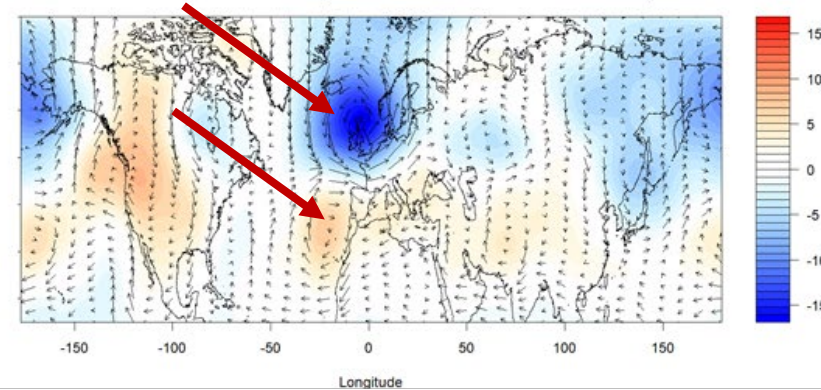
Maille 1060



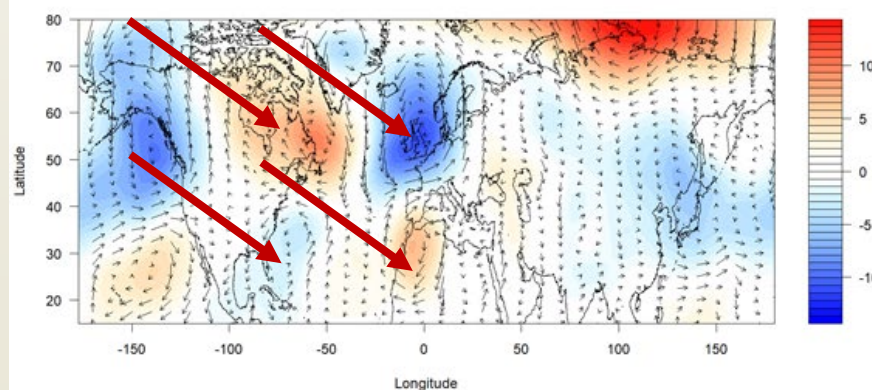
~7 ans

Piézométrie

Goupillières (Craie de Normandie)

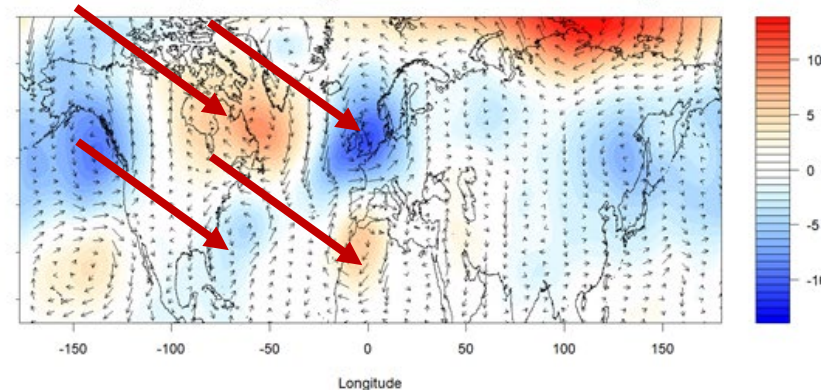


Maille 1060



~15 ans

Goupillières (Craie de Normandie)



Pattern ~NAO :

- 1 centre d'action au sud de l'Islande
- 1 centre d'action sur les Açores

4 centres d'action sur la zone Euro-Atlantique :

- *2 centres d'action en phase avec le signal local* (1 au sud du Groenland; 1 au sud de l'Espagne)
- *2 centres d'action en phase opposée avec le signal local* (1 sur le Royaume-Uni; 1 sur la côte Est nord-américaine)

Résultats

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites Z500 par niveau d'échelle

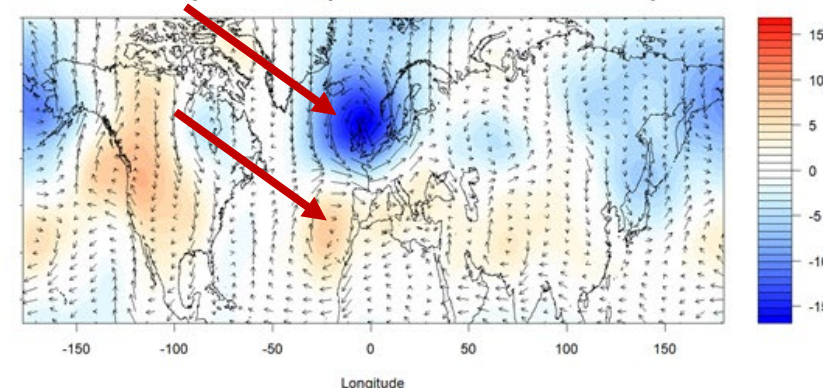
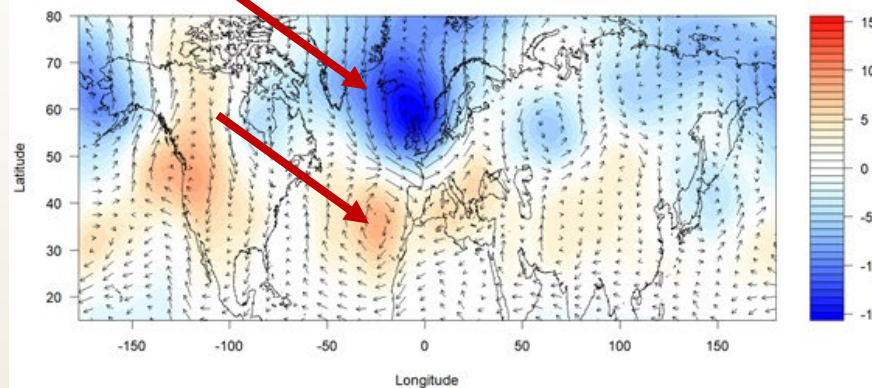
Exemple pour le piézomètre de Goupillières (craie Normandie) et les précipitations SAFRAN correspondantes (maille 1060)

Précipitations

Piézométrie

Maille 1060

Goupillières (Craie de Normandie)



Pattern ~NAO :

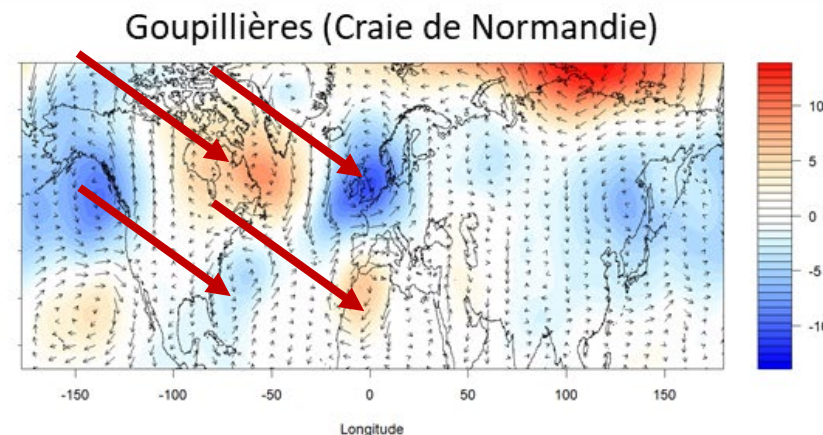
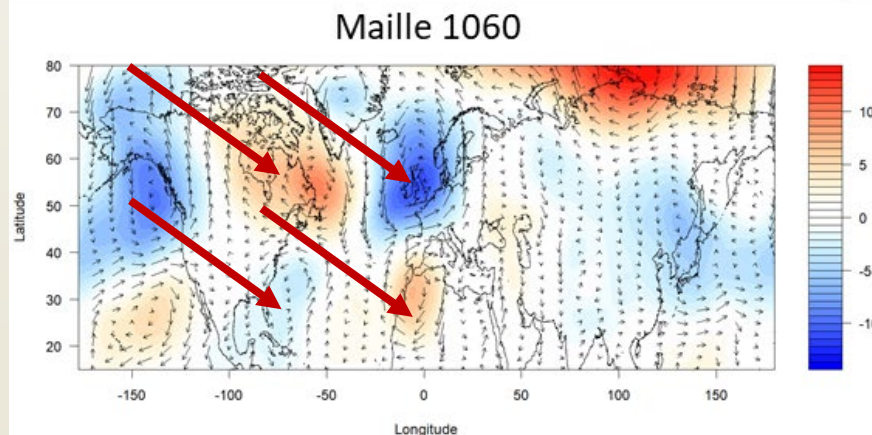
- 1 centre d'action au sud de l'Islande
- 1 centre d'action sur les Açores

4 centres d'action sur la zone Euro-Atlantique :

- *2 centres d'action en phase avec le signal local* (1 au sud du Groenland; 1 au sud de l'Espagne)
- *2 centres d'action en phase opposée avec le signal local* (1 sur le Royaume-Uni; 1 sur la côte Est nord-américaine)

~7 ans

~15 ans



=> Les structures atmosphériques associées aux variabilités ~7 ans et ~15 ans divergent.

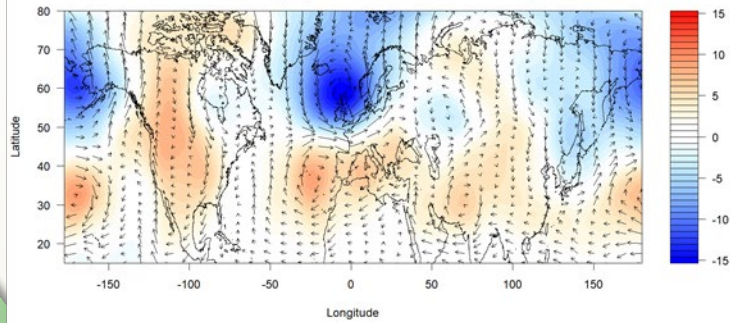
Résultats

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques (BSeine)

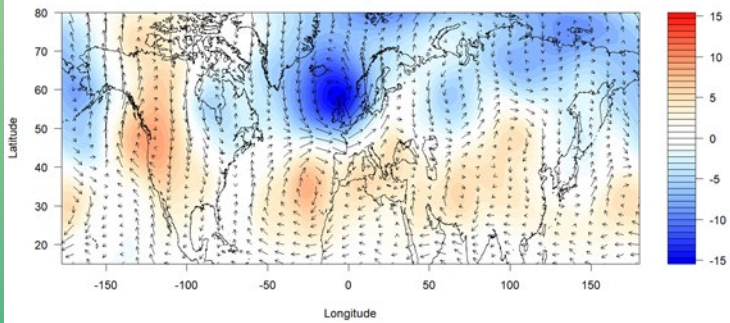
Composites Z500 par niveau d'échelle

~7 ans

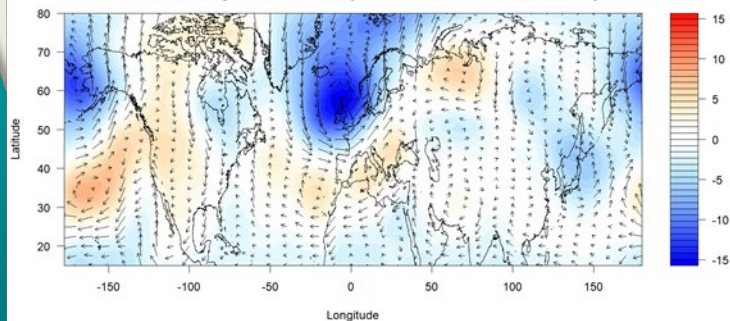
Cuvilly (Craie de Picardie)



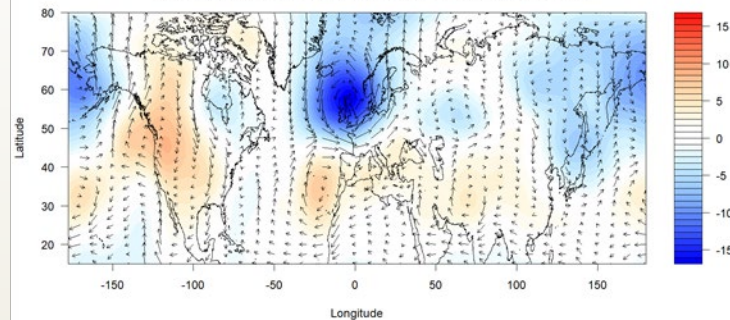
Novion-Porcien (Sables de l'Albien)



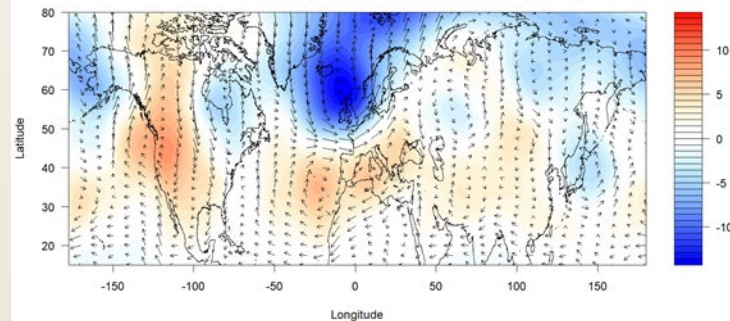
Fresnoy-Le-Luat (Sables du Lutétien)



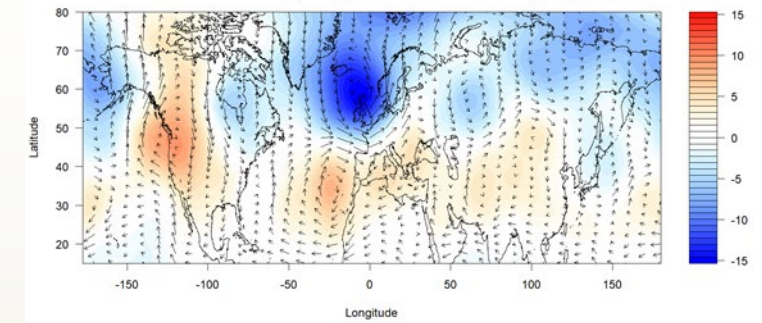
Goupillières (Craie de Normandie)



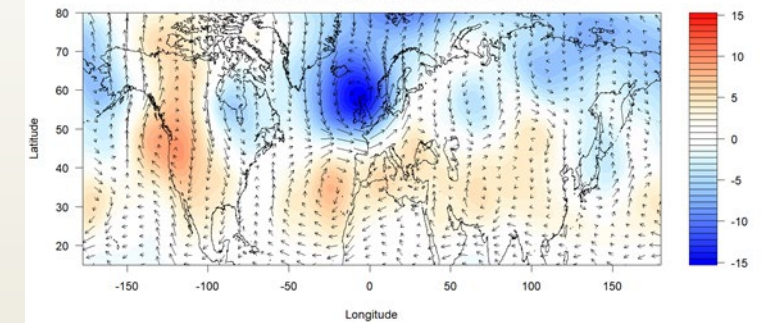
Villeloup (Craie de Bourgogne)



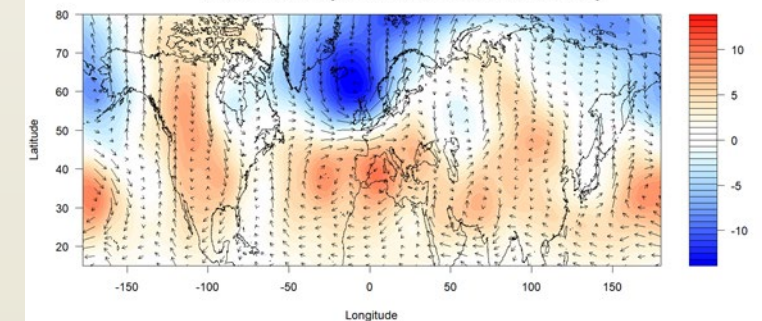
Grandes-Loges (Craie de Champagne)



Janvilliers (Calcaires Eocène)



Thionville (Calcaires de Beauce)



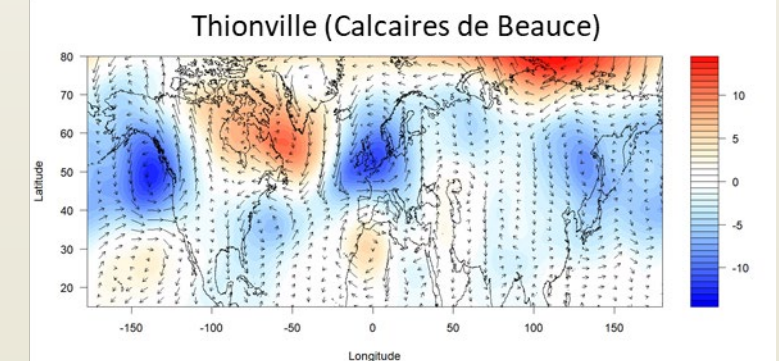
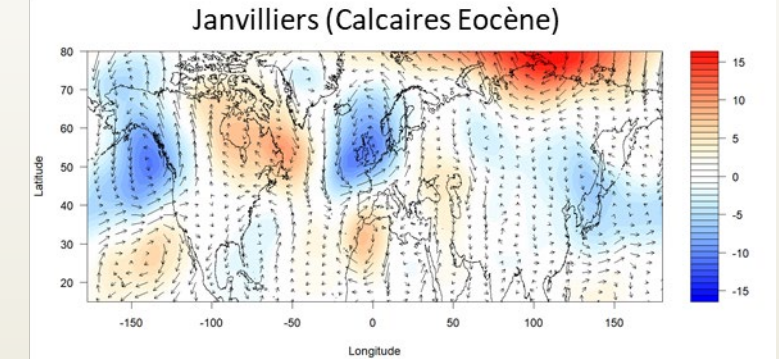
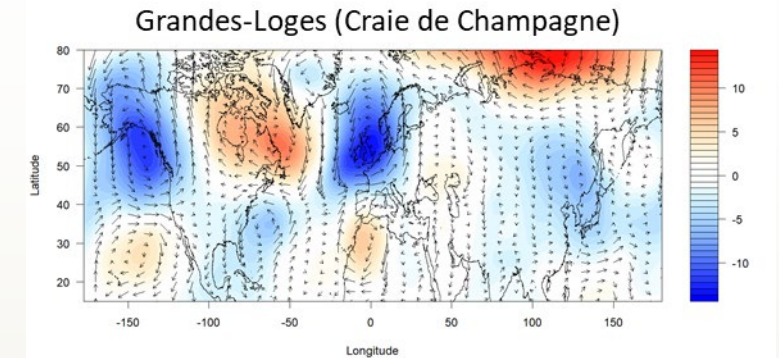
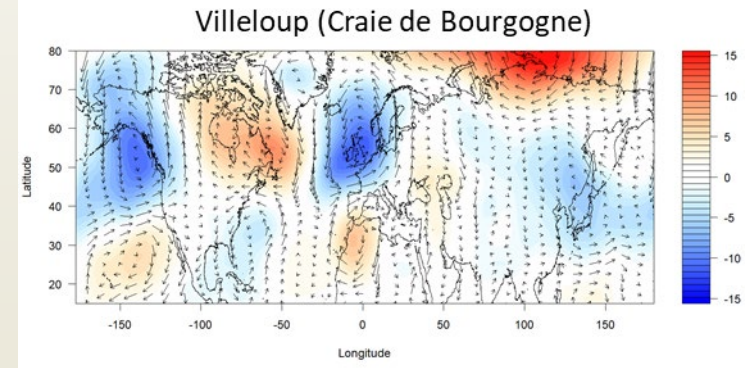
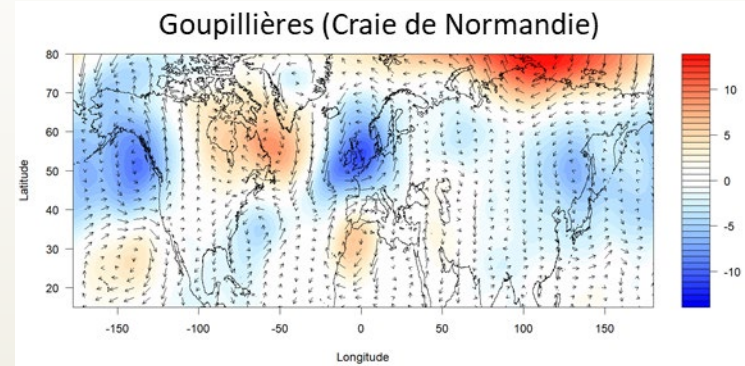
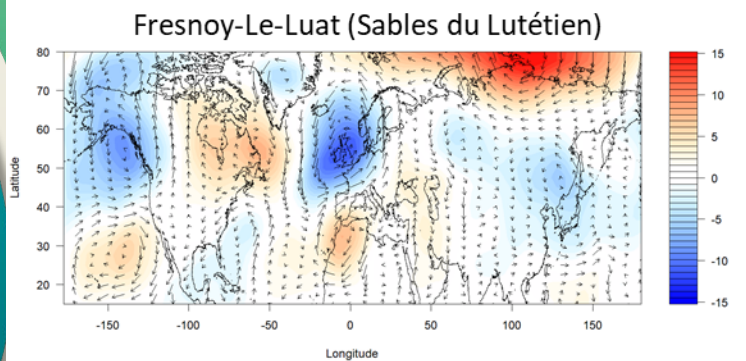
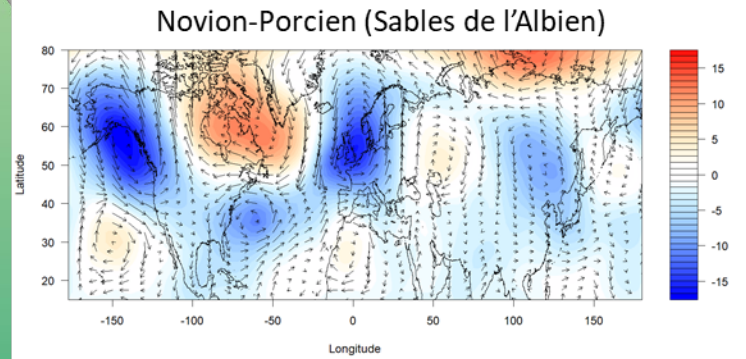
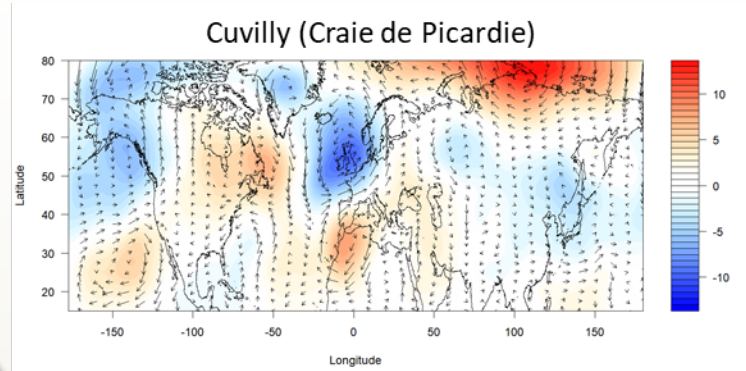
=> Les structures atmosphériques associées à la variabilité ~7 ans sont homogènes à l'échelle du bassin de la Seine.

Résultats

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques (BSeine)

Composites Z500 par niveau d'échelle

~14 ans



=> Les structures atmosphériques associées à la variabilité ~15 ans sont homogènes à l'échelle du bassin de la Seine.

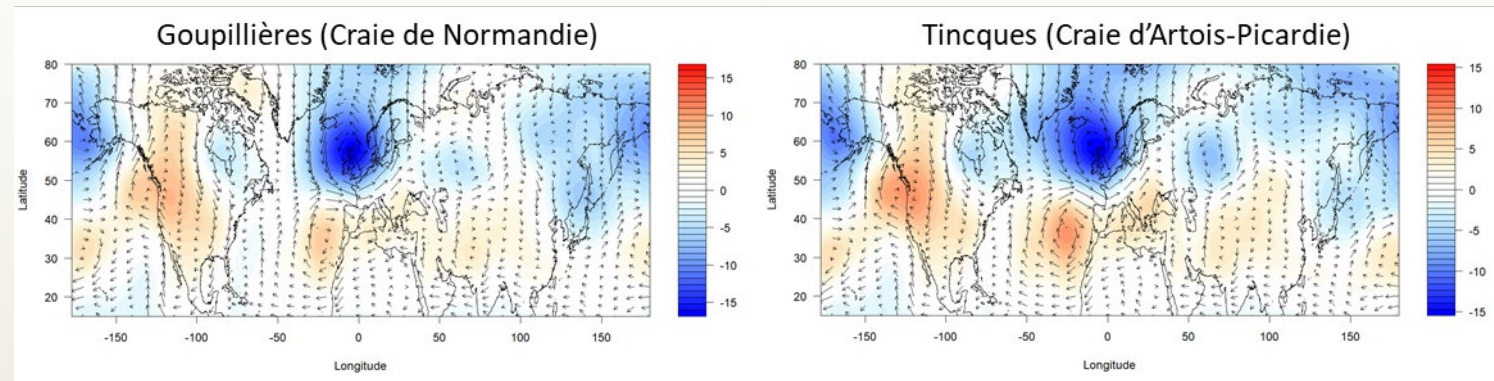
Résultats

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

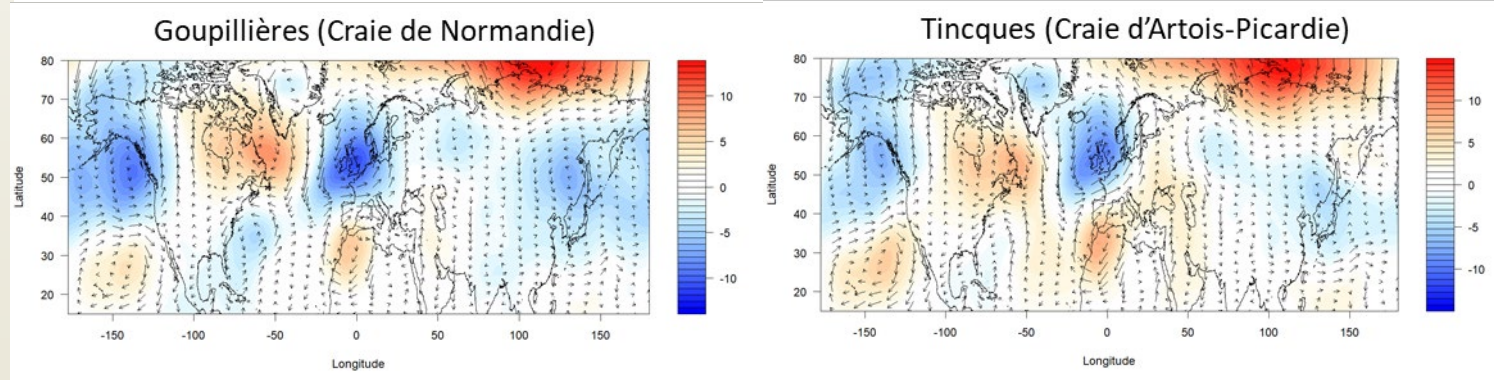
Composites Z500 par niveau d'échelle

Similarité entre les drivers atmosphériques de la variabilité ~7 ans et ~15 ans des niveaux piézométriques du Bassin de la Seine et de la craie d'Artois-Picardie (Nord) sur la période 1976-2019

~7 ans



~15 ans



=> Influences climatiques similaires : utilisation de la chronique piézométrique de Tincques pour déterminer si les patterns atmosphériques associés à ces variabilités sont identiques à plus long terme.

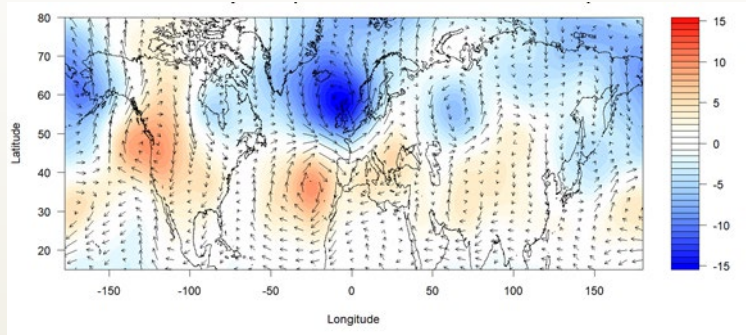
Résultats

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

Composites Z500 par niveau d'échelle

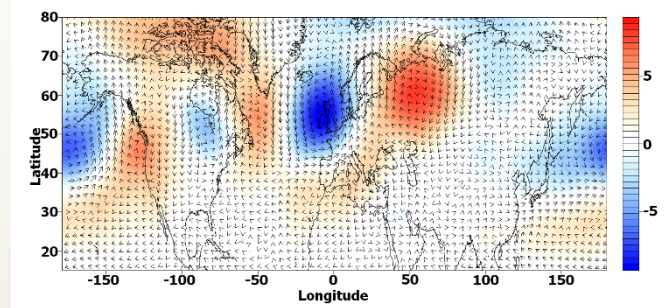
Composites du Z500 associés aux variabilités basses fréquences de Tincques (craie Artois-Picardie)

1976-2019

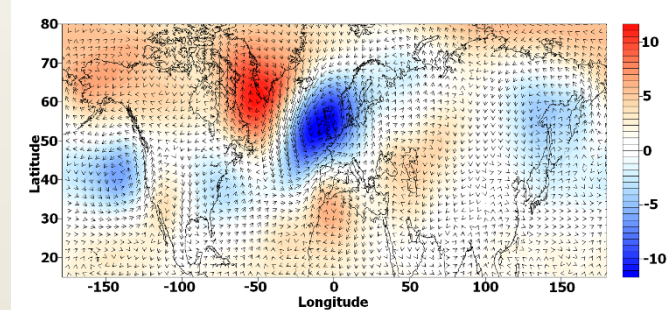
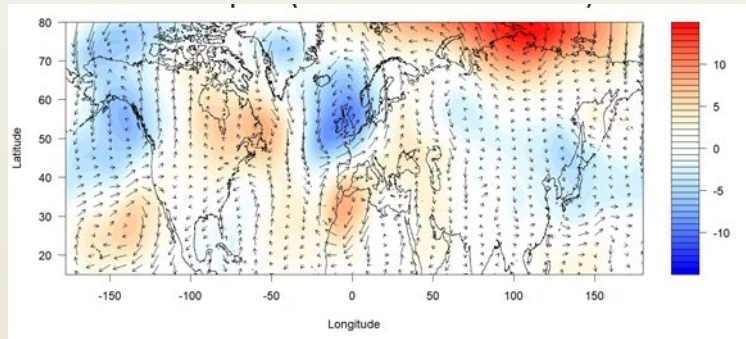


~7 ans

1903-2015



~15 ans



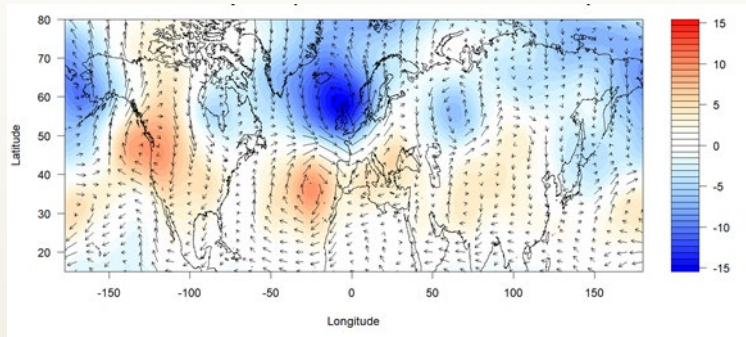
Résultats

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

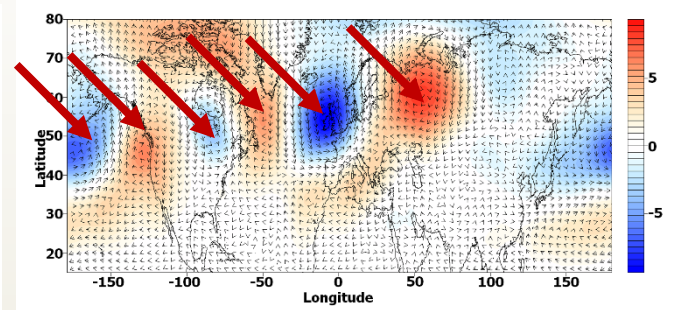
Composites Z500 par niveau d'échelle

Composites du Z500 associés aux variabilités basses fréquences de Tincques (craie Artois-Picardie)

1976-2019



1903-2015

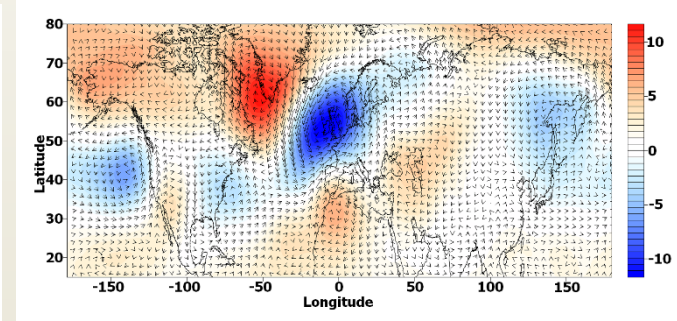
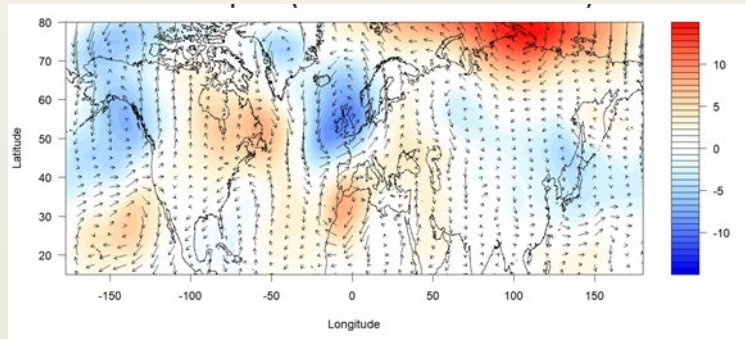


Pattern « train d'ondes » sur l'hémisphère Nord :

- Alternance longitudinale de centres d'action en phase et en opposition de phase avec le signal local

~7 ans

~15 ans



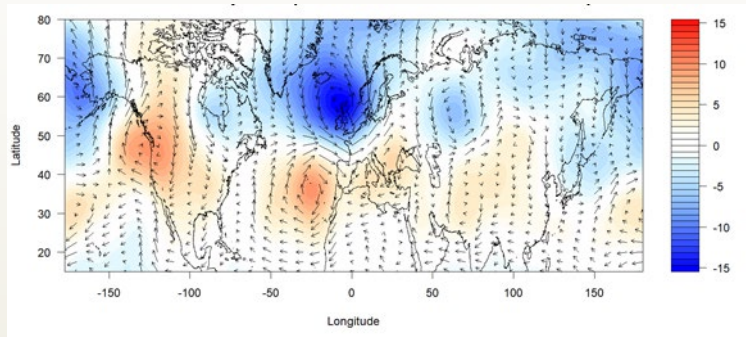
Résultats

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

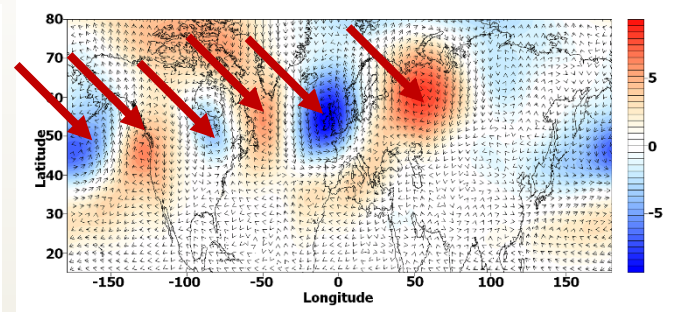
Composites Z500 par niveau d'échelle

Composites du Z500 associés aux variabilités basses fréquences de Tincques (craie Artois-Picardie)

1976-2019



1903-2015



Pattern « train d'ondes » sur l'hémisphère Nord :

- Alternance longitudinale de centres d'action en phase et en opposition de phase avec le signal local

4 centres d'action sur la zone Euro-Atlantique :

- 2 centres d'action en phase avec le signal local (1 au sud du Groenland; 1 au sud de l'Espagne)
- 2 centres d'action en phase opposée avec le signal local (1 sur le Royaume-Uni; 1 sur le sud de la côte Est nord-américaine)

~7 ans

~15 ans

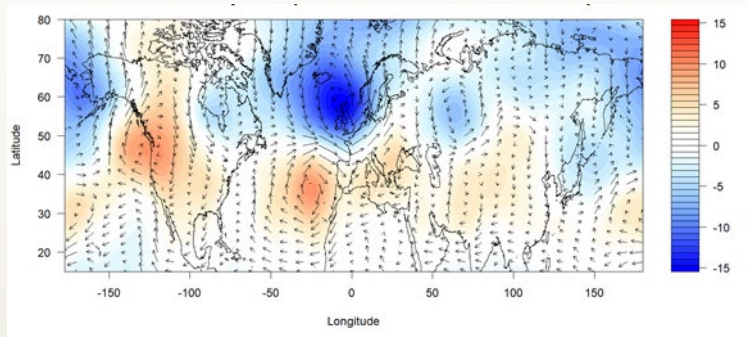
Résultats

Lien entre la circulation atmosphérique large-échelle et la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques

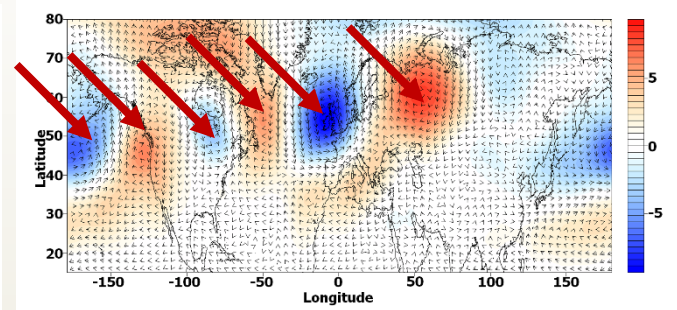
Composites Z500 par niveau d'échelle

Composites du Z500 associés aux variabilités basses fréquences de Tincques (craie Artois-Picardie)

1976-2019



1903-2015



Pattern « train d'ondes » sur l'hémisphère Nord :

- Alternance longitudinale de centres d'action en phase et en opposition de phase avec le signal local

4 centres d'action sur la zone Euro-Atlantique :

- 2 centres d'action en phase avec le signal local (1 au sud du Groenland; 1 au sud de l'Espagne)
- 2 centres d'action en phase opposée avec le signal local (1 sur le Royaume-Uni; 1 sur le sud de la côte Est nord-américaine)

~7 ans

~15 ans

⇒ La relation n'est pas stationnaire au cours du temps :

- Sur la période récente la variabilité ~7 ans est plus associée à un pattern ~NAO,
- Bien que la disposition spatiale des centres d'action associés à la ~15 ans soient ~ similaires entre les 2 périodes d'étude, leur position est légèrement décalée vers le Nord sur la côte Est nord-américaine.

Conclusion

- **Aquifères du bassin de la Seine** : 2 variabilités basses fréquences dominantes (~7 ans et ~15 ans)
- Les **patterns climatiques** associés à ces deux échelles dans la piézométrie sont **identiques à ceux de la pluie**.
- Les **patterns climatiques** associés à ces deux échelles **diffèrent**, ce qui met en évidence que les processus atmosphériques mis en jeu ne sont pas les mêmes.
- Les **patterns climatiques** associés respectivement à l'échelle ~7 ans (ou ~15 ans) des niveaux piézométriques sont **homogènes à l'échelle du bassin de la Seine** (et entre les différents aquifères).
- Ces **liens entre la circulation atmosphérique large-échelle et les variabilités basses fréquences** des niveaux piézométriques ne sont **pas stationnaires** au cours du temps.

Implication majeure

- Possibilité d'utiliser des indices dérivés de ces patterns climatiques ou d'utiliser directement les champs atmosphériques (Z500) pour prédire la piézométrie en utilisant un modèle de descente d'échelle statistique multi-échelle.



Merci de votre attention !