

33^e Journée de la Recherche IGN – Marne-la-vallée
Jumeau numérique de la France
28 mars 2024

**Quels sont les obstacles à une représentation réaliste des déformations
du sol avec les GNSS ?**

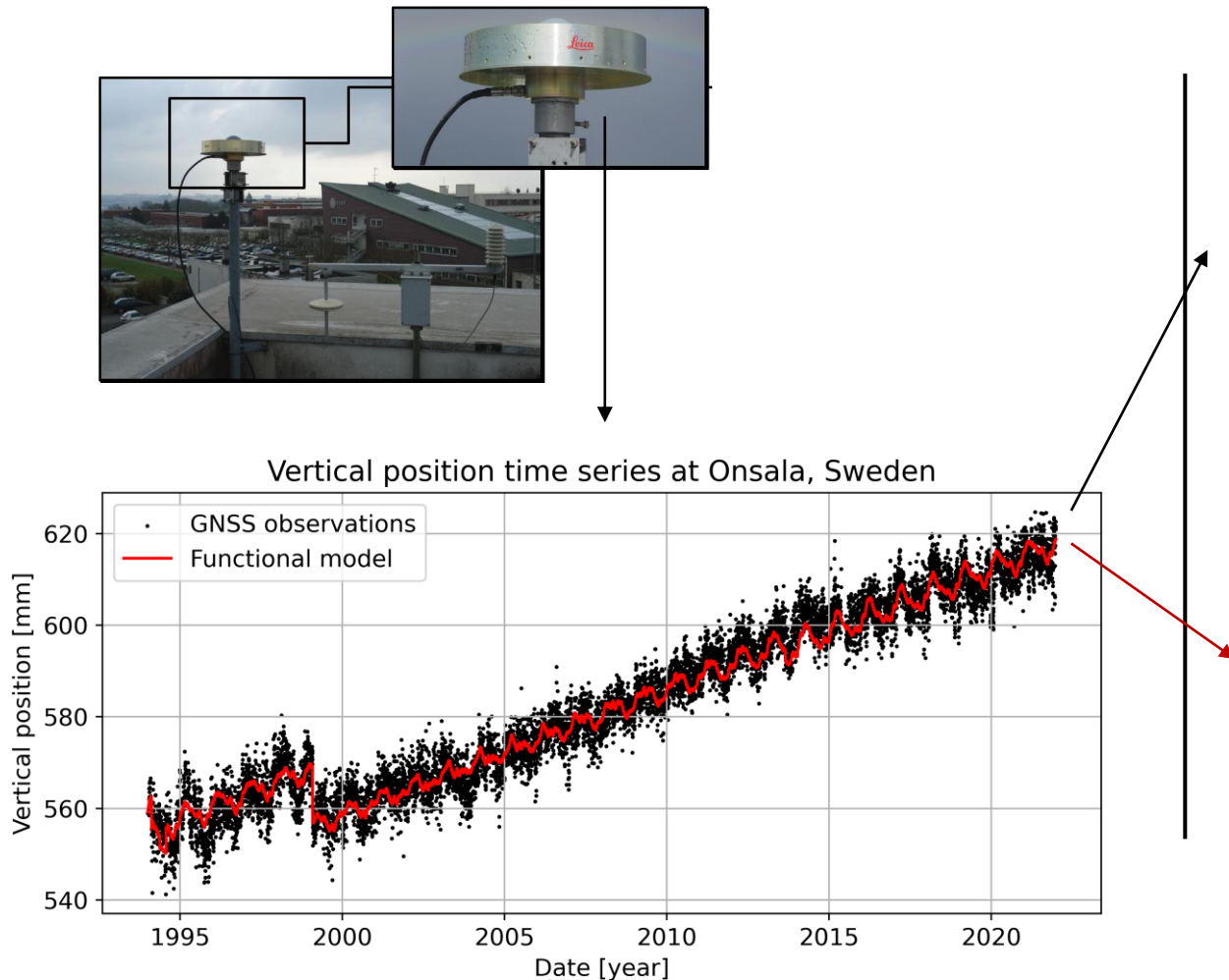
Kevin Gobron⁽¹⁾, Paul Rebischung^(1,2), Kristel Chanard^(1,2), Zuheir Altamimi^(1,2)

(1) - Université Paris Cité, Institut de physique du globe de Paris, CNRS, IGN, Paris, France

(2) - Université Gustave Eiffel, ENSG, Marne-La-Vallée, France



Séries temporelles de positions GNSS



Points en noir :

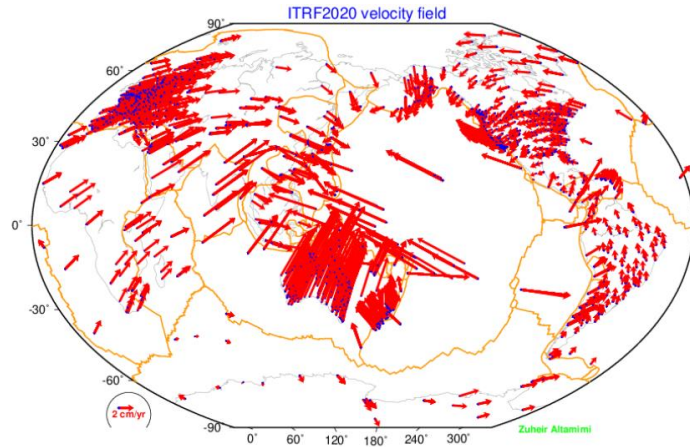
- Estimations des **positions journalières**
- Issues d'un **traitement GNSS de précision**
- Sujet à des **erreurs systématiques et aléatoires**

Courbe en rouge :

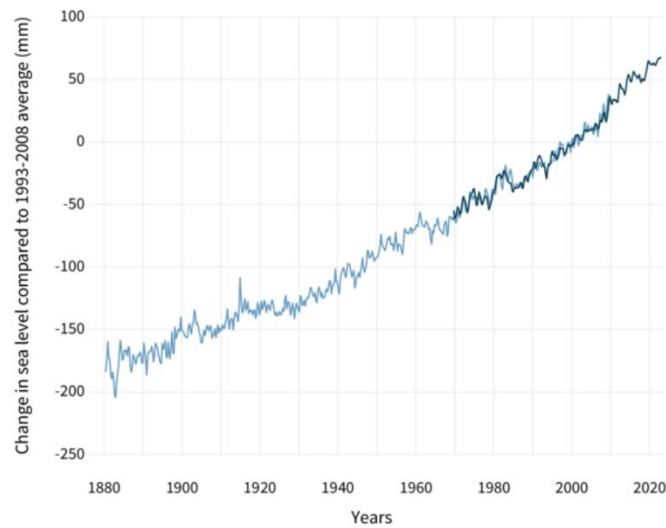
- Modèle de **trajectoire**
- **Coordonnées régularisées**
- Représentation **mathématique simplifiée**
- Somme de **fonctions simples**
- Plus facilement **interprétable**
- La base de beaucoup de **produits géodésiques**

Applications scientifiques du positionnement GNSS de précision

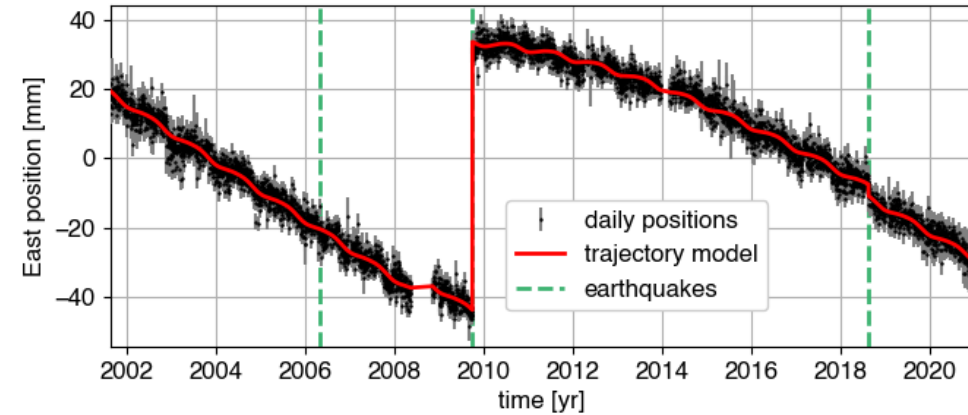
Repères de référence terrestres



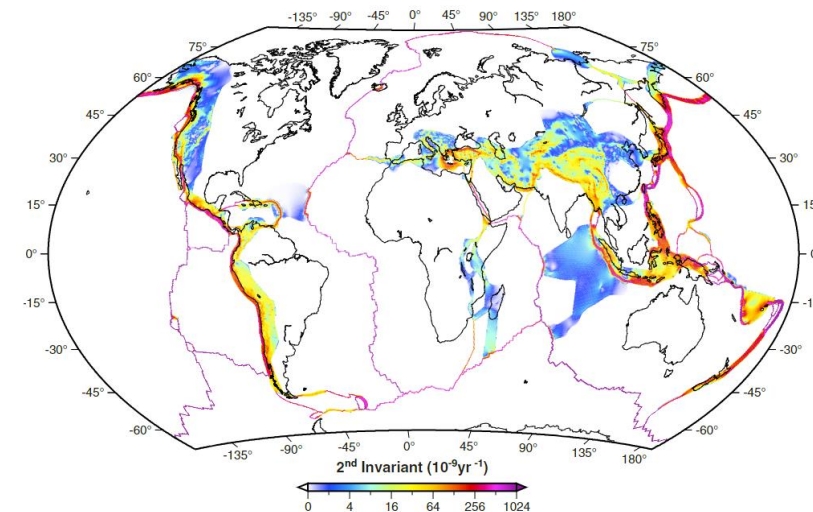
Changement du niveau des mers



Etude des déformations sismiques

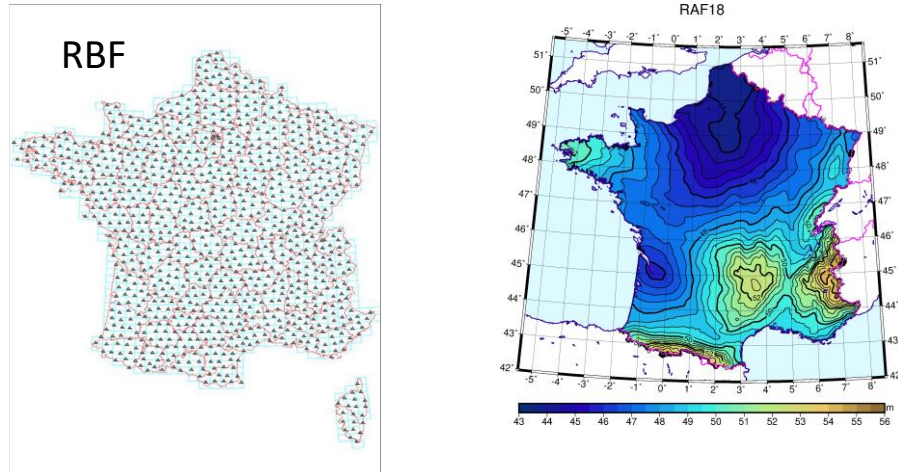


Evaluation du risque sismique

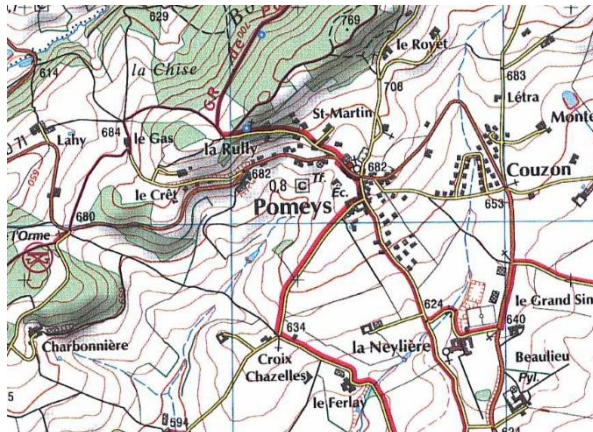


Applications civiles du positionnement GNSS de précision

Accès aux références horizontales et verticales
réglementaires (RGF93 et NGF IGN 69)



Cartographie du territoire



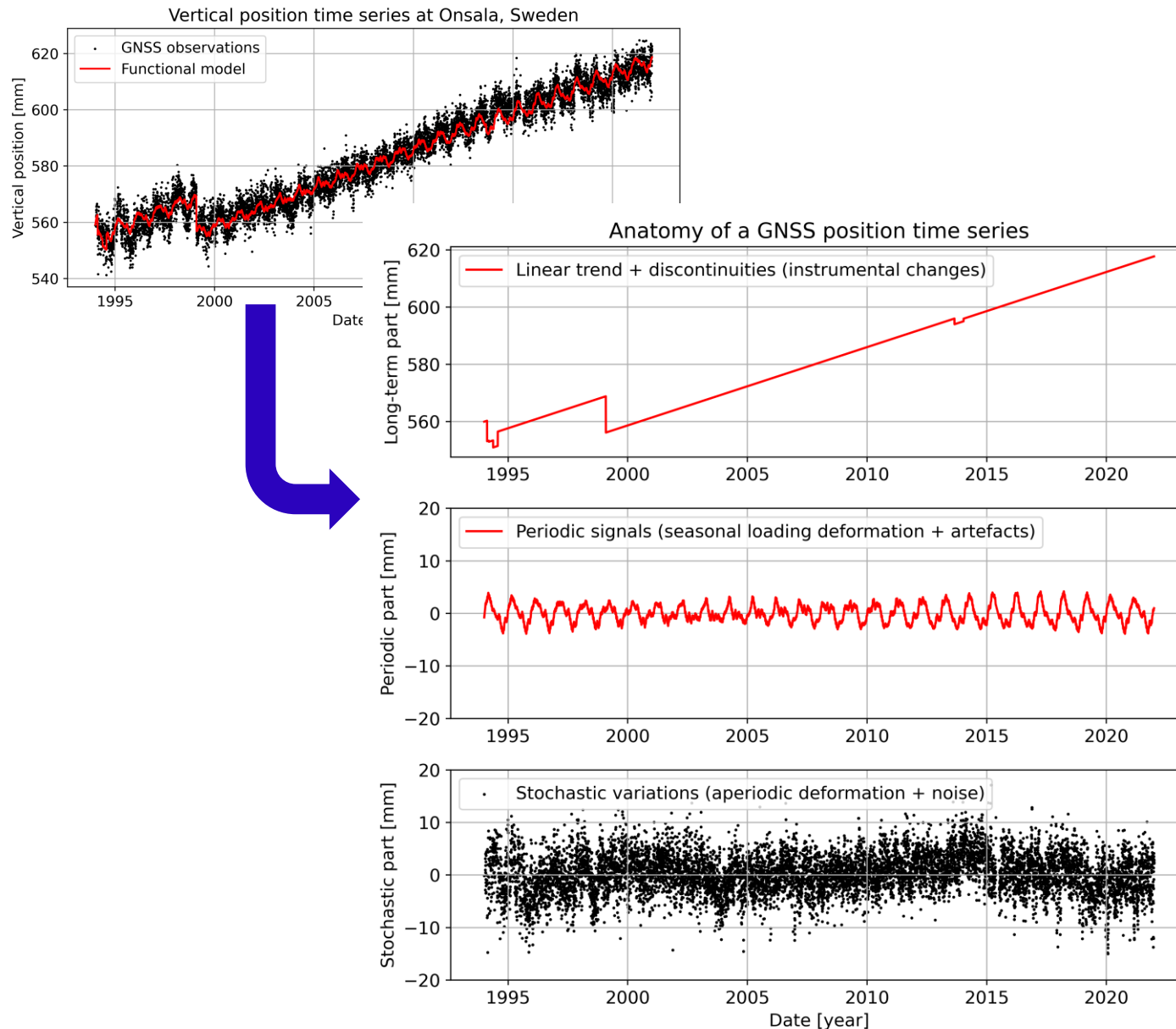
Délimitation de propriétés (bornage)



Génie civil



Erreurs systématiques et aléatoires dans les séries de positions GNSS



Variations déterministes

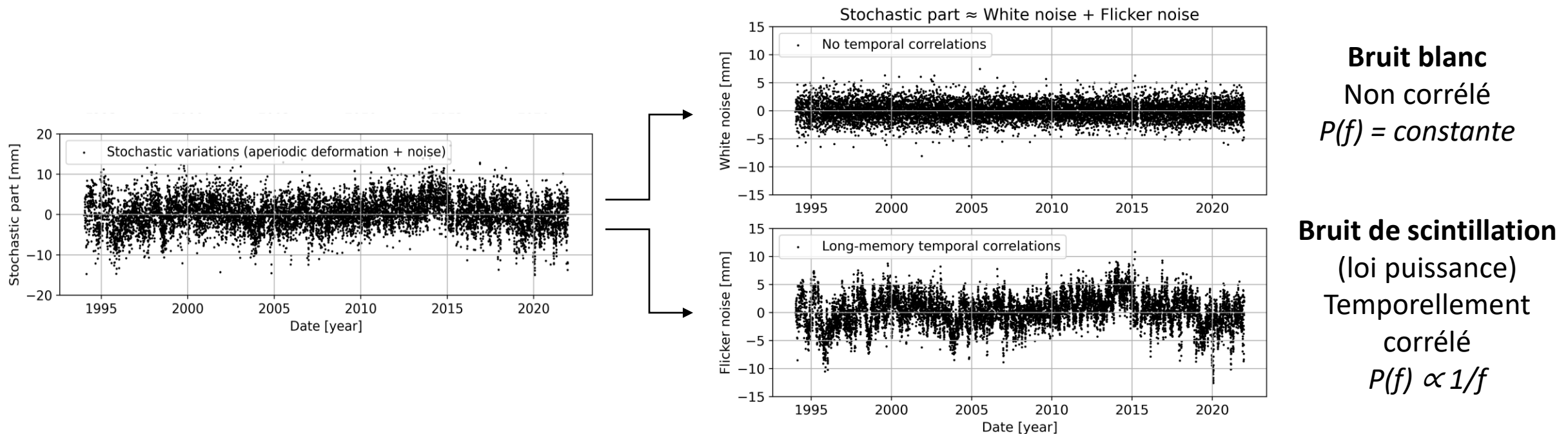
- Tendance linéaire
- Discontinuités
- Signaux périodiques
- Signaux transitoires (séismes)
- Mélange de **signaux physiques et d'erreurs systématiques**
- ✓ Origines bien comprises !
- ✓ Facile à modéliser !

Variations aléatoires

- Signaux non-linéaires aperiodiques
- **Erreurs aléatoires**
- ❑ Origines mal comprises !
- ❑ Difficile à modéliser !
- **Source d'incertitude !**

Corrélations temporelles du bruit dans les séries de positions de stations

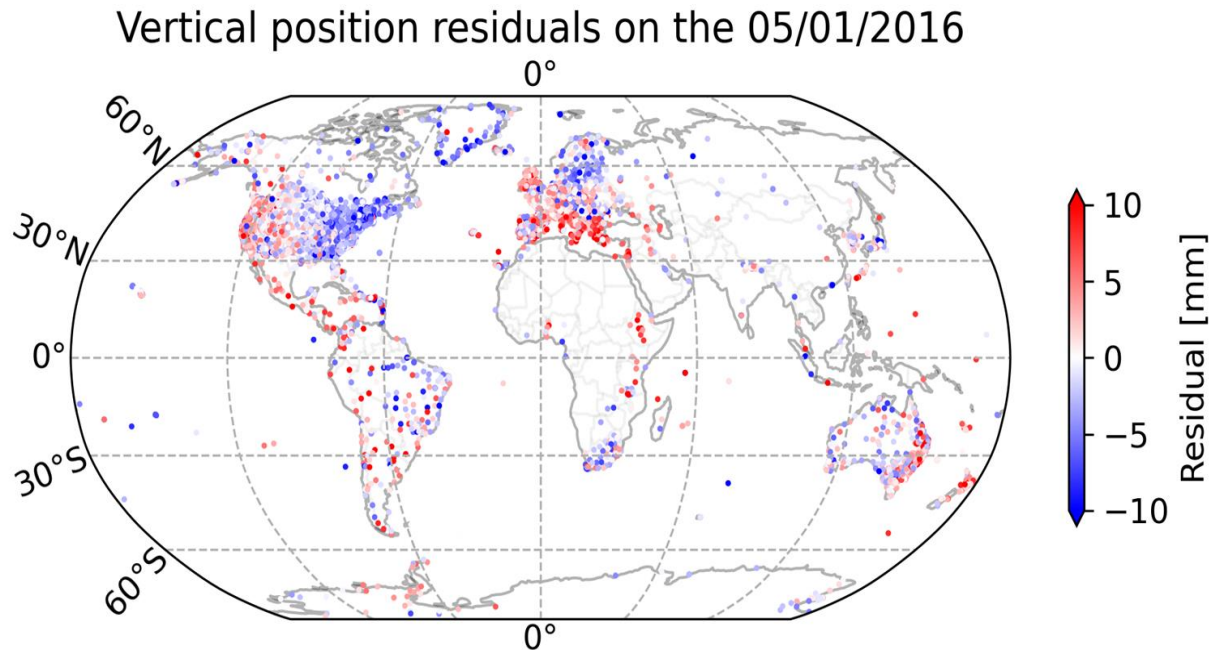
Approximativement une combinaison d'un bruit blanc et d'un bruit de scintillation
(pour les séries corrigées des effets de surcharges)



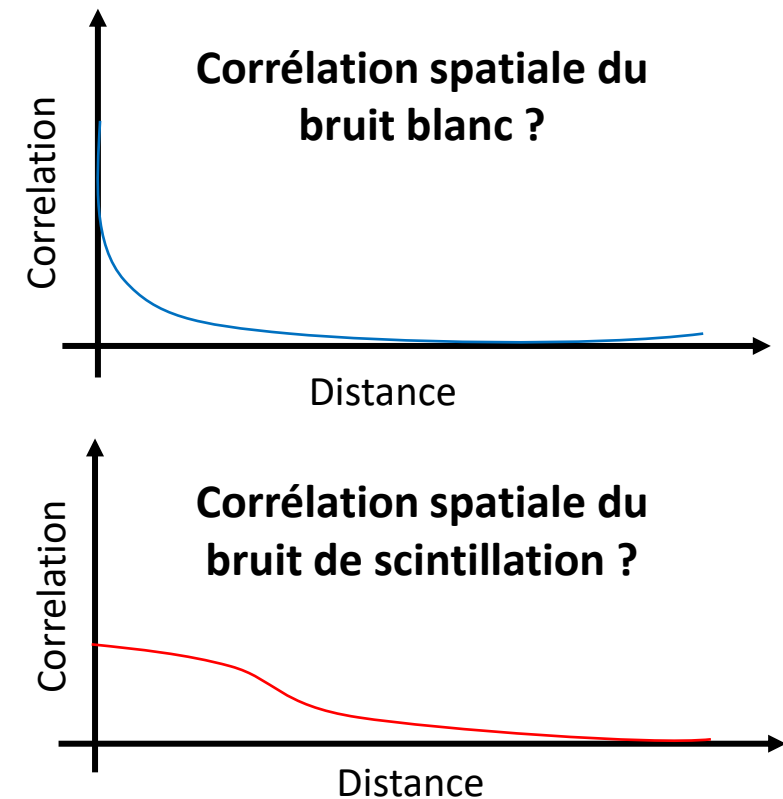
Le bruit de scintillation est la **source d'incertitude principale** sur les déformations de long-terme (Williams, 2003).

L'origine de ces bruits est mal connue : c'est **un sujet de recherche actif** en géodésie !

Corrélations spatiales du bruit dans les séries de positions de stations



Positions verticales corrigées des effets de surcharges
(calculées par le GFZ : NTAL+NTOL+HYDL+SLEL)



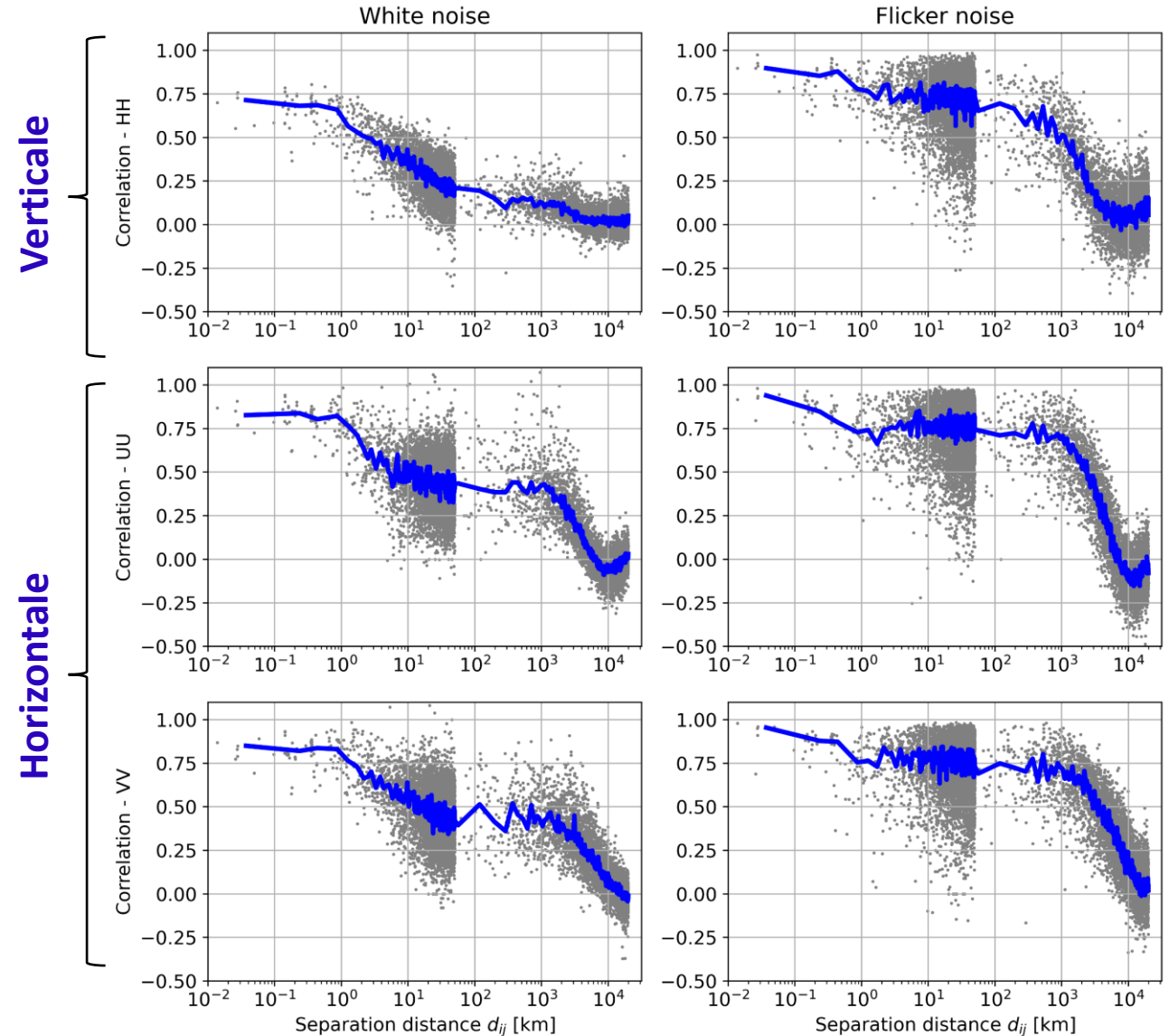
Chaque processus stochastique peut avoir une **corrélation spatiale propre** (Niu et al, 2023)

Diagnostic des corrélations temporelles et spatiales

Diagnostic des corrélations temporelles et spatiales

(Gobron et al., 2024, soumis)

- **Différences importantes** entre bruit blanc et bruit de scintillation
- Corrélations à **grande échelle** (plusieurs milliers de km)
- Augmentation des corrélations à **courtes distances**
- Trois régimes de **corrélations spatiales**
- **Source d'information** sur l'origine de ces bruits

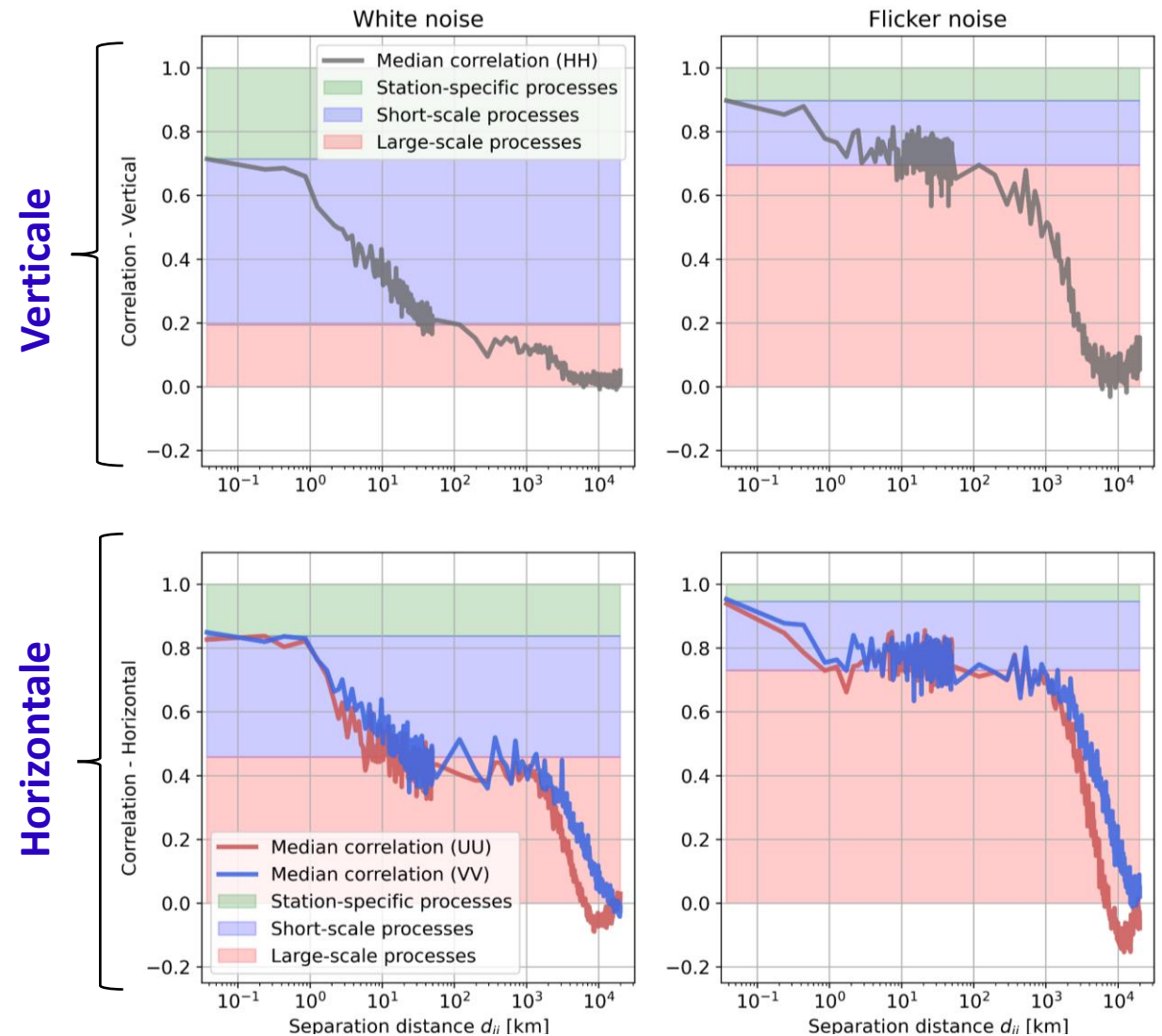


Diagnostic des corrélations temporelles et spatiales

Diagnostic des corrélations temporelles et spatiales

(Gobron et al., 2024, soumis)

- **70% du bruit de scintillation** a une signature spatiale à **grande échelle spatiale** (suggère une origine orbitale).
- **40% - 50% du bruit blanc** a une **signature spatiale à courte échelle spatiale** (suggère une origine atmosphérique).
- **Le bruit associé à des effets spécifiques à chaque station** est faible.



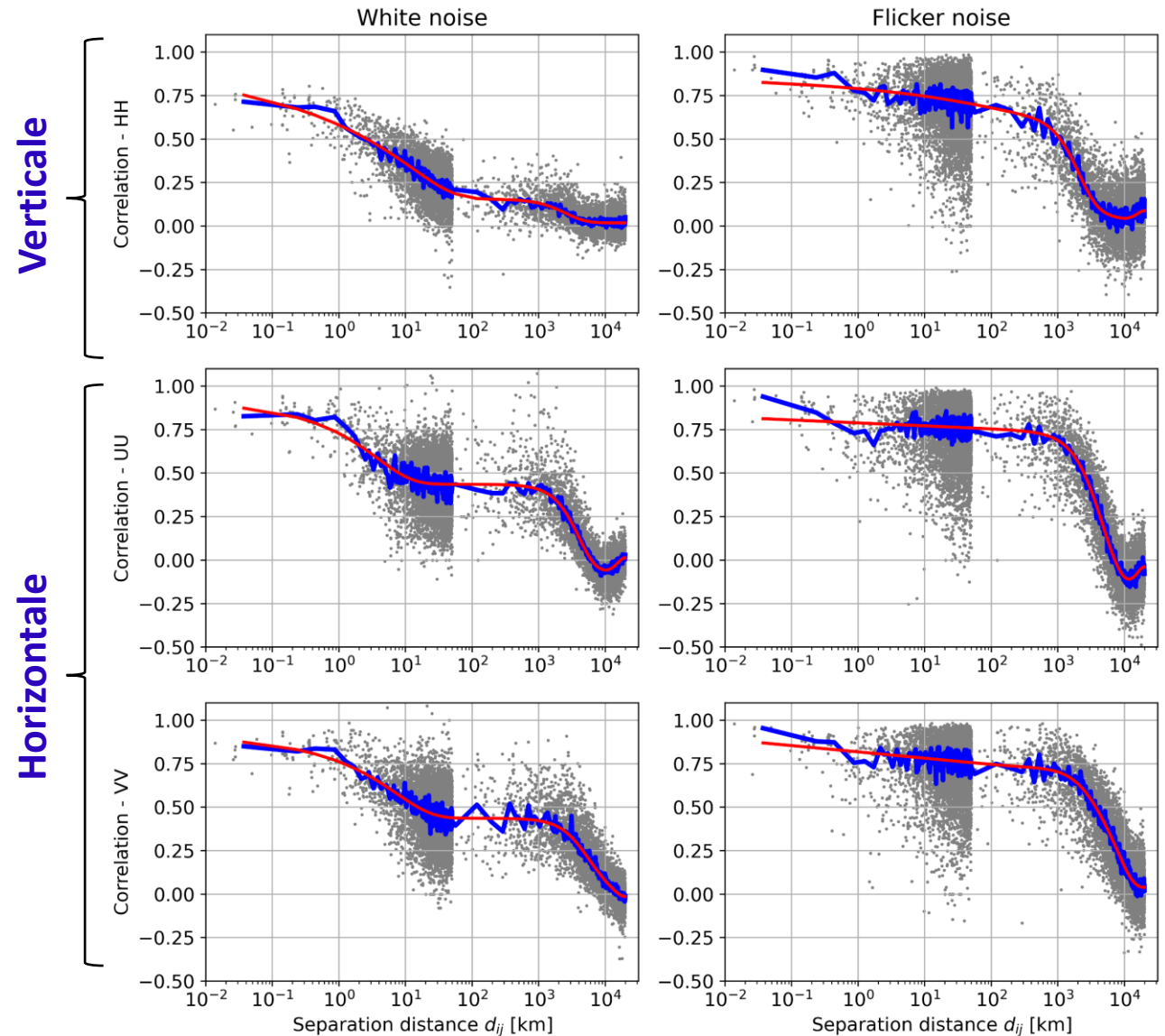
Modélisation des corrélations temporelles et spatiales

Modèle de corrélation spatiale vectorielle sur la sphère

(Rebischung et al., 2024, en prép.)

(Gobron et al., 2024, en prép.)

- Les corrélations spatiales à **courtes distances** sont décrites par un **modèle de Matérn** ($1 \text{ km} < d < 50 \text{ km}$).
- Les corrélations à plus **grandes distances** ($> 50 \text{ km}$) sont décrites par des **processus aléatoires vectoriels** sur la sphère suivant une **équation aux dérivées partielles stochastique** (SPDE (Lantuejoul et al., 2019 ; Rebischung et al. 2023)).

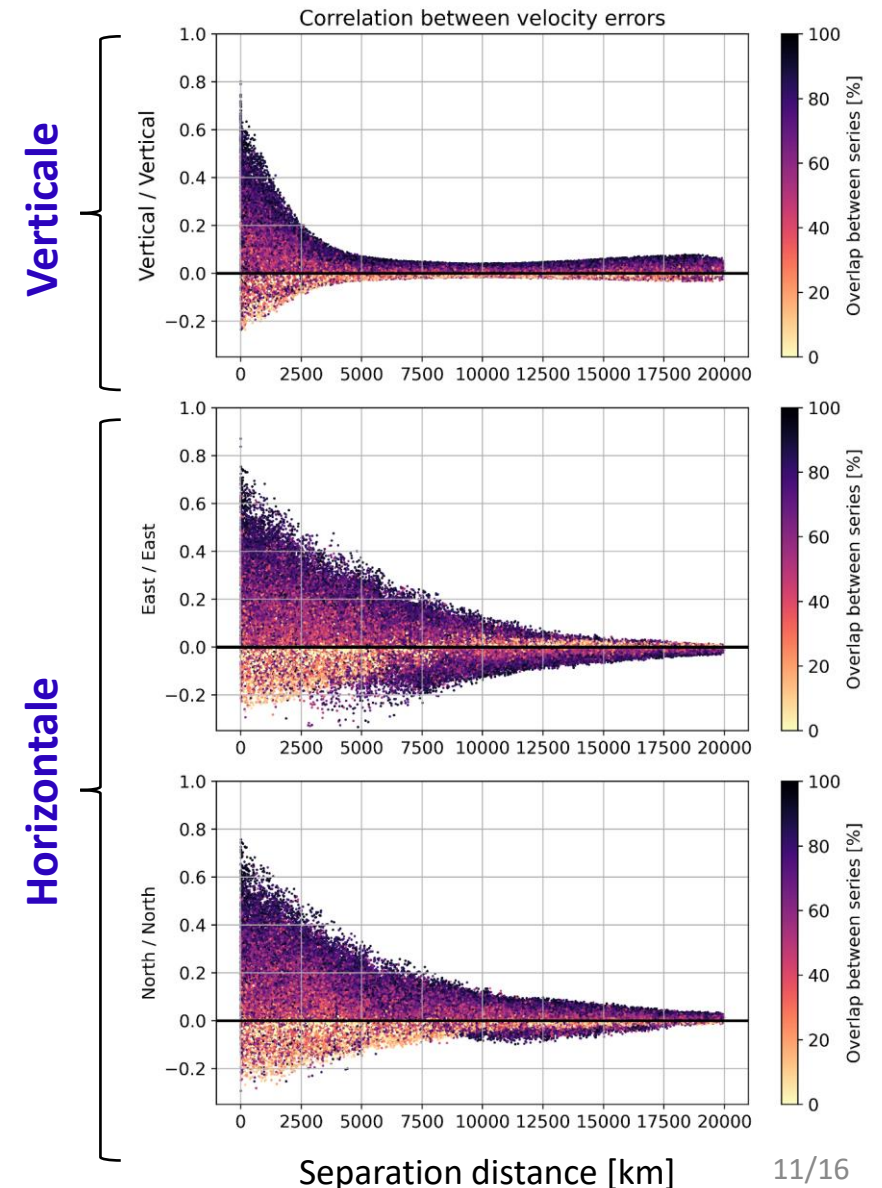


Modélisation des corrélations temporelles et spatiales

La corrélation spatiale du bruit implique des erreurs spatialement corrélées sur les estimations de vitesses !

(Gobron et al., 2024, en prép.)

- Propagation des corrélations **non triviale**.
- Essentiellement contrôlée par la **corrélation spatiale du bruit de scintillation**.
- Des **corrélations négatives** sont possibles.
- Les corrélations spatiales des erreurs sur les vitesses dépendent beaucoup du **chevauchement entre les séries** (couleur des points).
- Impact important pour **beaucoup d'applications scientifiques** et civiles !



Conclusions

- Les séries de positions de stations GNSS sont sujettes à des **erreurs systématiques et aléatoires**.
- La présence de ces **erreurs** et les **défaillances de leurs modélisations** sont des obstacles à la **représentation réaliste des déformations** avec les GNSS.
- **L'équipe de géodésie de l'IGN/IPGP** travaille activement à mieux comprendre les **sources de ces erreurs** et à **mieux les modéliser**.
- Les progrès réalisés récemment vont avoir un **impact majeur** pour beaucoup d'applications en **géodésie et en géophysique**.

Merci !