

L'exploitation
et la maintenance
des infrastructures



Chutes de Blocs
Risques **R**ocheux
Ouvrages de **P**rotection



VIADUC DE BARDONNEX



ANALYSE DES DONNÉES DU SUIVI PAR RÉSEAUX DE NEURONES
ATMB - EGIS



SOMMAIRE

1. Contexte du projet
2. Présentation de l'ouvrage
3. Le réseau de neurones
4. Choix des données
5. Critères de vérification
6. Analyse des prédictions
7. Conclusion

01.

LE CONTEXTE DU PROJET



CONTEXTE DU PROJET

Une collaboration ATMB et EGIS pour l'analyse des données du suivi du viaduc de BARDONNEX, pour établir les prédictions d'évolution de l'ouvrage par Machine Learning

02.

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

Viaduc situé avant la douane entre la France et la Suisse

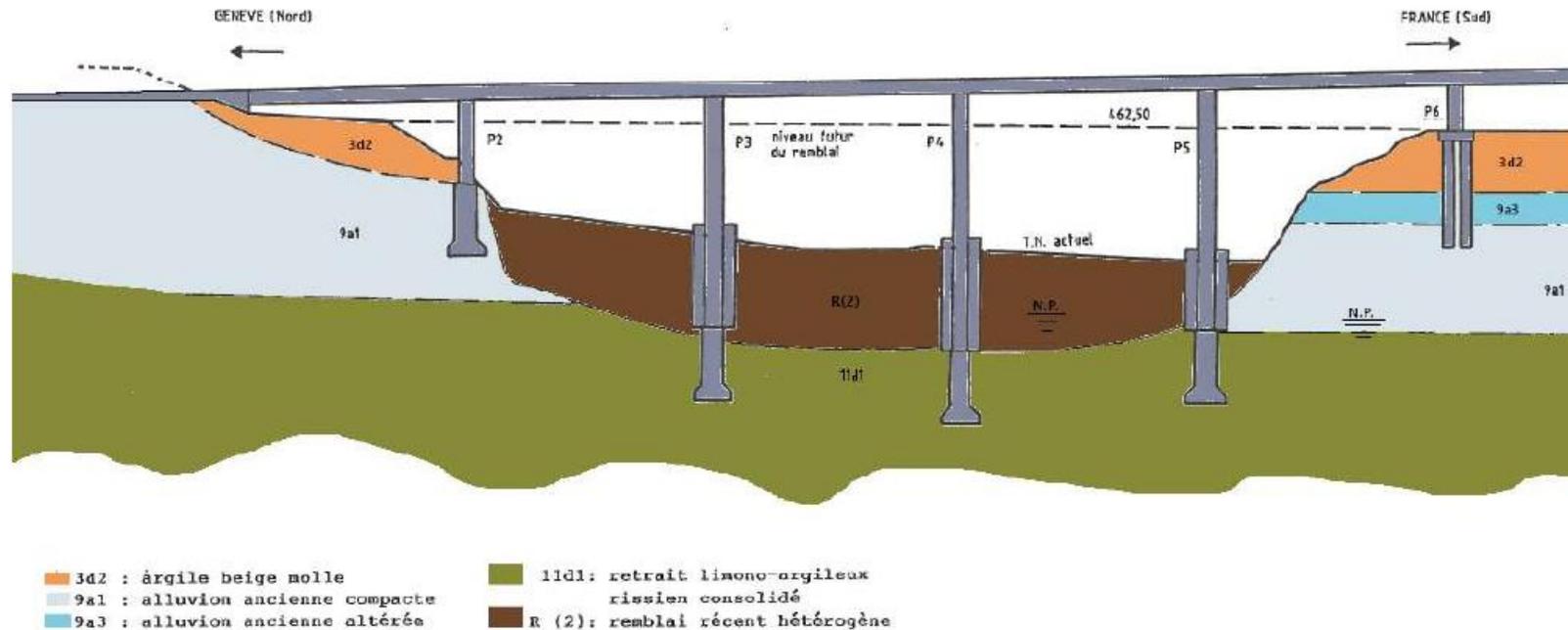


St Julien en Genevois
Autoroute A41

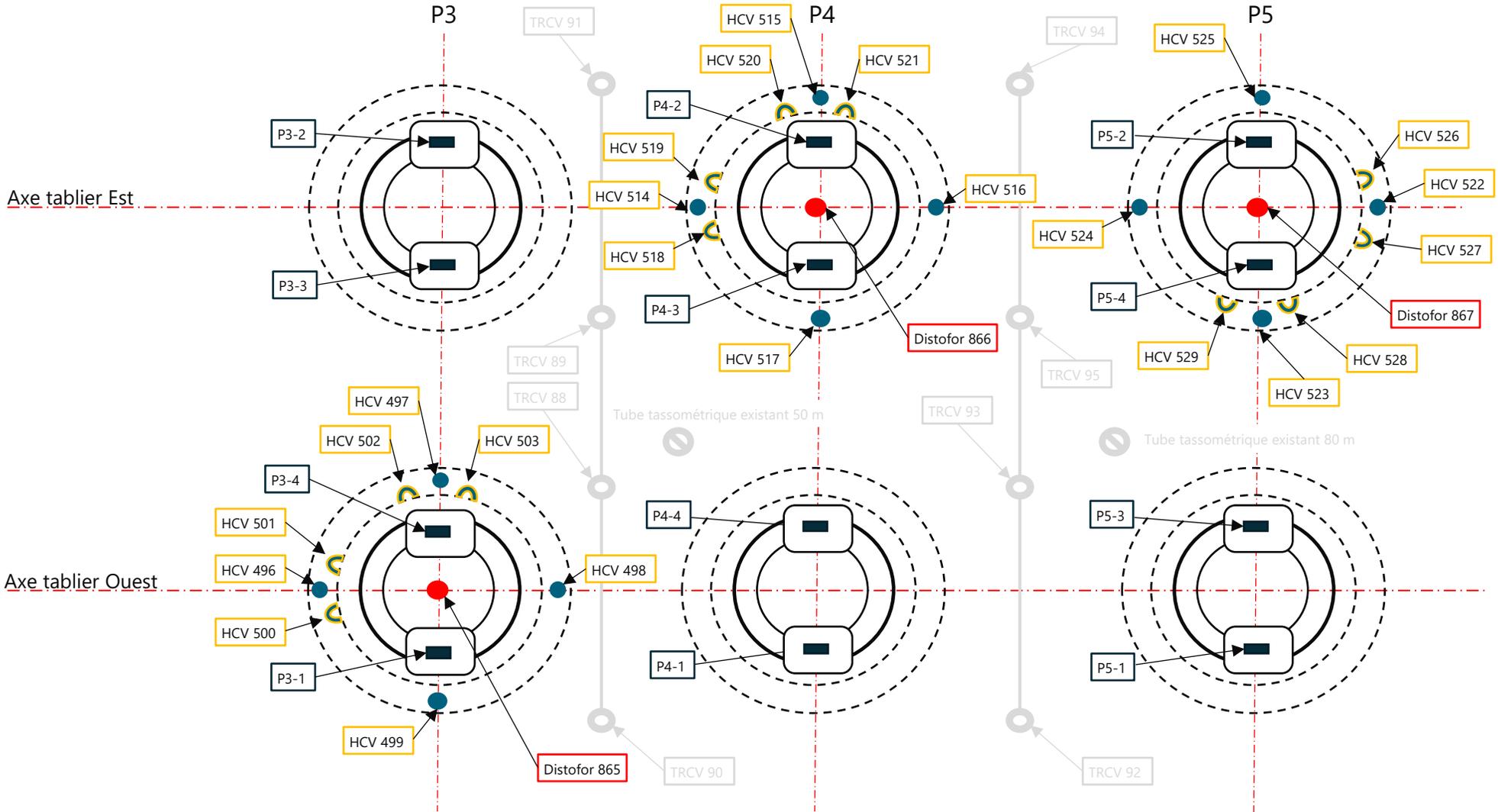
Suivi depuis 1991

PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

- Construit sur une ancienne gravière, remblayée sur 15 m après exploitation
- Tassements induits par le comblement de la gravière pris en compte lors de la conception de l'ouvrage

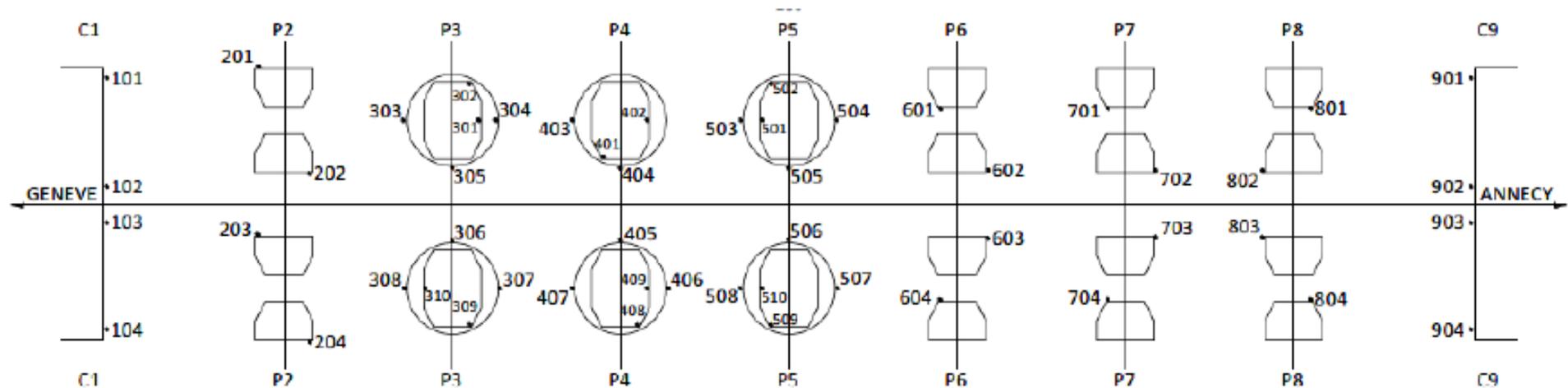
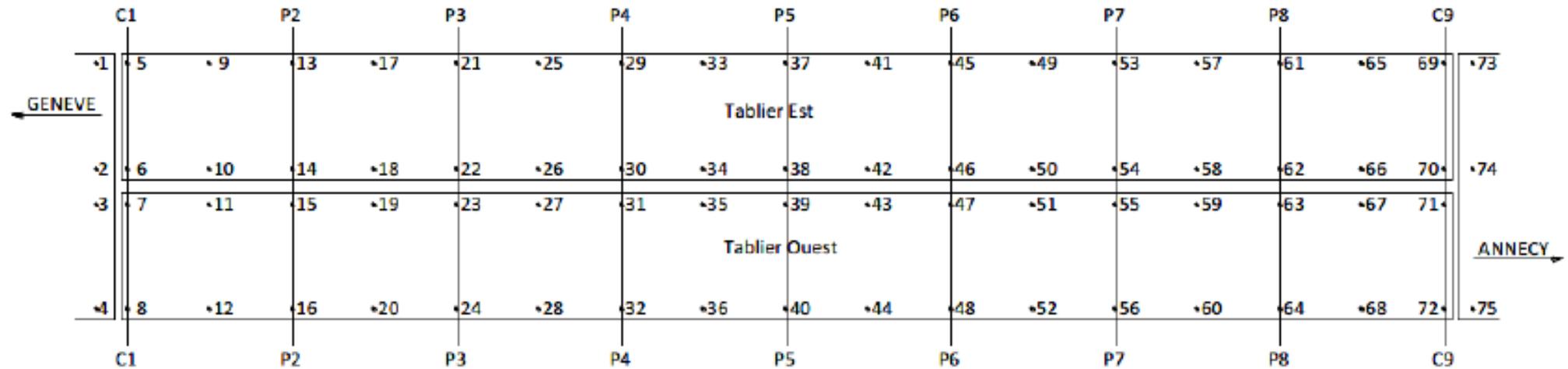


INSTRUMENTATION DES PILES



- Cellule de pression sous la fondation
- Extensomètre en forage (Distofor)
- ↷ Cellule de pression sur le côté de la pile
- Tassomètre de surface
- Cellule appui RESTON
- ⊘ Tube tassométrique multipoints

SUIVI TOPOGRAPHIQUE



INSTRUMENTATION - DISPOSITIFS

		Dispositifs d'auscultation au niveau des piles						
		Pile P3		Pile P4		Pile P5		
		EST	OUEST	EST	OUEST	EST	OUEST	
Dispositifs	Appuis RESTON	P3-2 P3-3	P3-4 P3-1	P4-2 P4-1	P4-4 P4-1	P5-2 P5-3	P5-3 P5-1	12 appuis
	Cellule pression totale (HCV) (Contrainte sous la fondation et le long de la fondation à la base des puits)		496,497, 498,499, 500, 501, 502, 503	514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521		522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529		12 CPT sous fondation 12 CPT le long des piles
	Extensomètre multipoints (type Distofor)		865	866		867		3 Extensomètres

Suivi topographique					
Culée direction Genève	Tabliers (2)	Culée direction Chamonix	Piles (7)	Virolles (3)	
Niveau tabliers : 4 points	68 points	Niveau tabliers : 3 points	28 points	15 points	126 points
Culée : 4 points		Culée : 4 points			

LE SUIVI

Appuis RESTON – Dérive rapide des mesures

- Charges nominales par appui : P3 à P5 : 3 146 tonnes
- Mesure 1997 : 2 800 tonnes

CELLULES DE PRESSION TOTALES (CPT)

- Mesures assez stables

Extensomètres en forage (sous les piles P3W, P4E et P5E)

- Capteurs encore mesurés stables depuis les mesures initiales

LE SUIVI

Suivi topographique

- En 2002, remplacement système de mesure de la verticalité des piles par des mini-prismes
- En 2015, modification des repères topographiques (objectif amélioration du suivi)

03.

LE RESEAU DE NEURONES



RÉSEAU DE NEURONES - DÉFINITION

Algorithme d'intelligence artificielle inspiré du cerveau humain. Il est composé de « neurones » interconnectés organisés en couches (entrée, cachées, sortie).

Par un processus d'apprentissage, le réseau ajuste ses connexions pour accomplir des tâches complexes telles que la reconnaissance d'images, la traduction automatique ou la prédiction de séries temporelles.

ALGORITHME EXISTANT (MATHLAB)

- Langage de programmation daté
- Basé sur un modèle HST (Hydrostatique, Saisonnier Temporel)
- Paramètres algorithme différents de ceux du projet pour BARDONNEX
- Absence d'estimation de la fiabilité des prédictions
- Nombre limité d'options et bibliothèques (pour développer une IA)

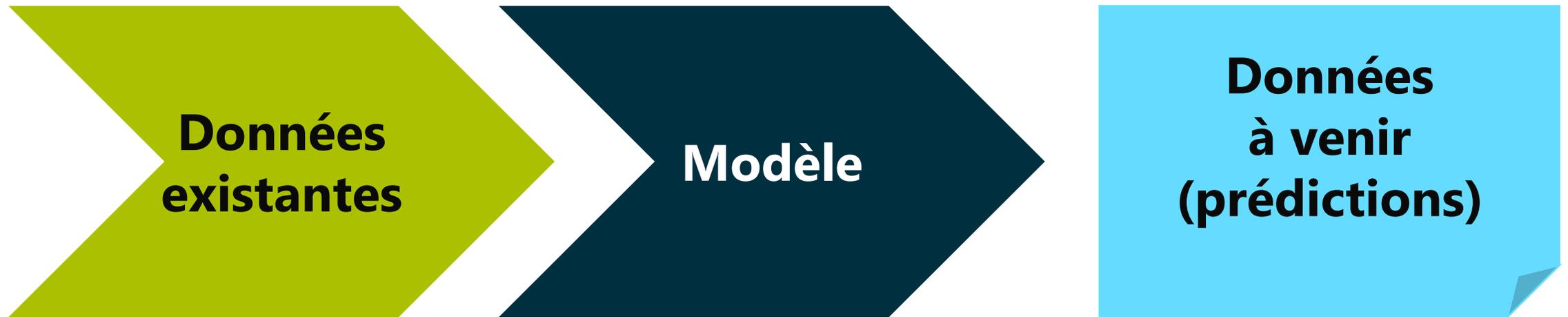
CHOIX DE CRÉER UN NOUVEL ALGORITHME

ALGORITHME PYTHON

- Utilisation de bibliothèques PYTHON, notamment SKLEARN, pour appliquer différentes méthodes de régression (linéaire, polynomial, logarithmique)



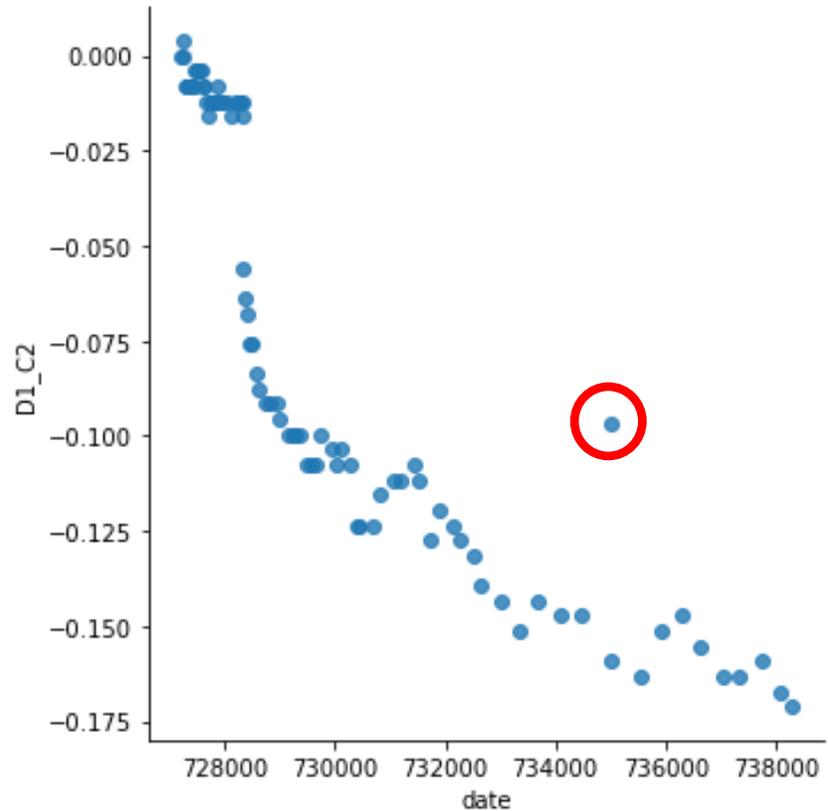
MODÈLE DE RÉGRESSION



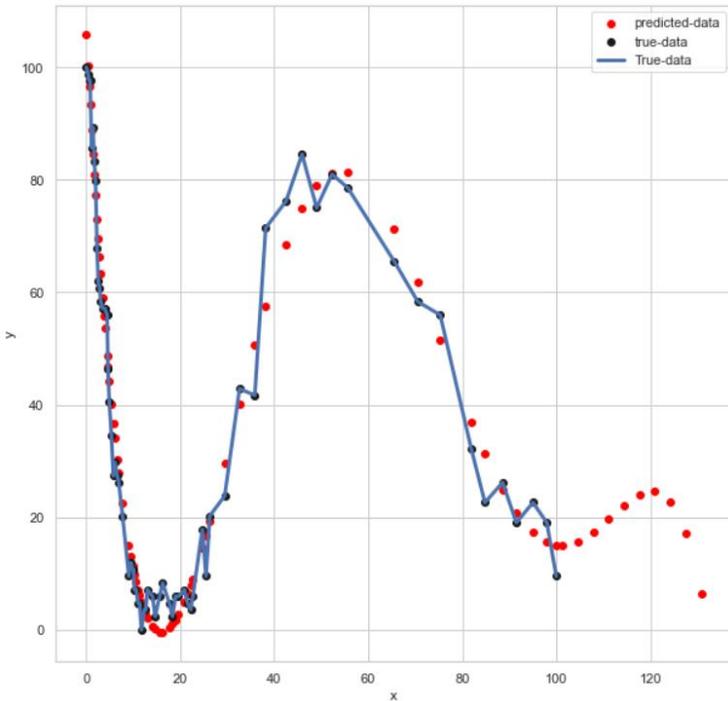
MODELÉ DE RÉGRESSION - RECHERCHE

- Recherche du type de régression plus adapté

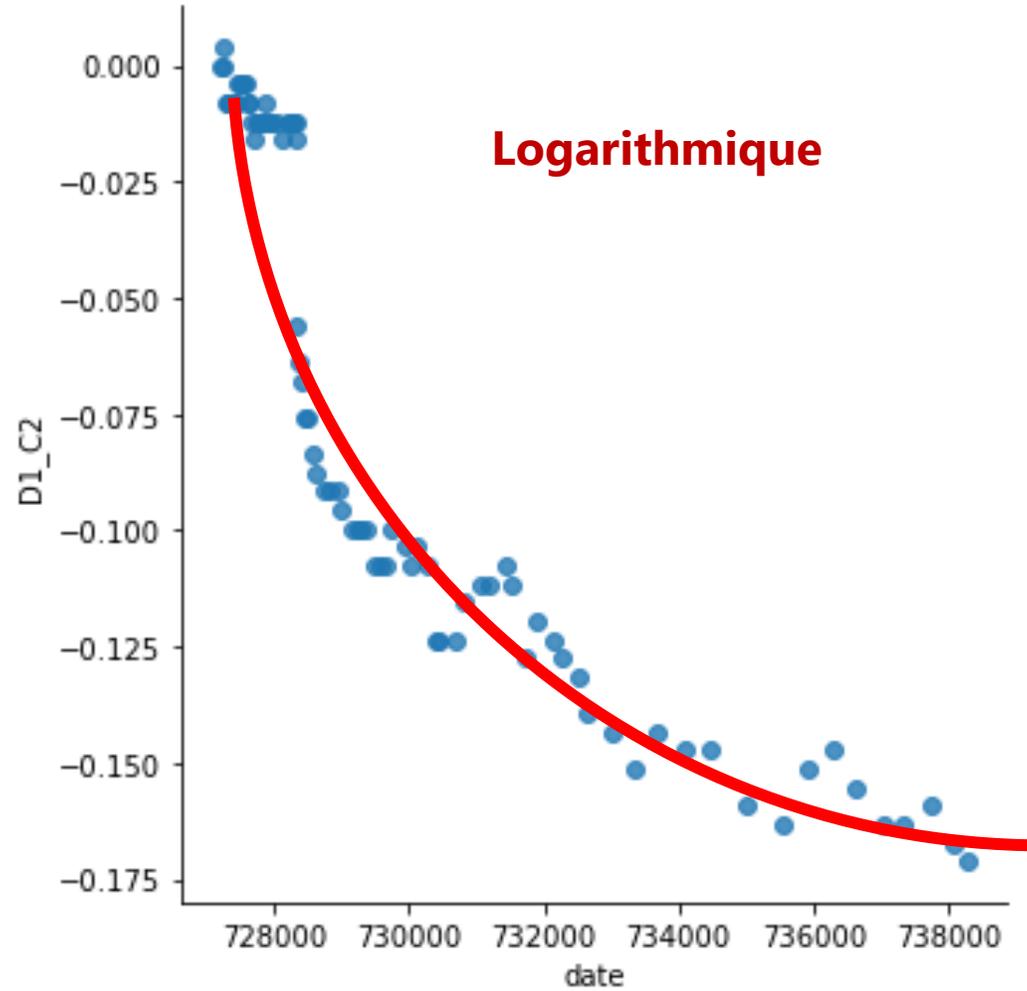
- Importation des données
- Suppression des données non pertinentes



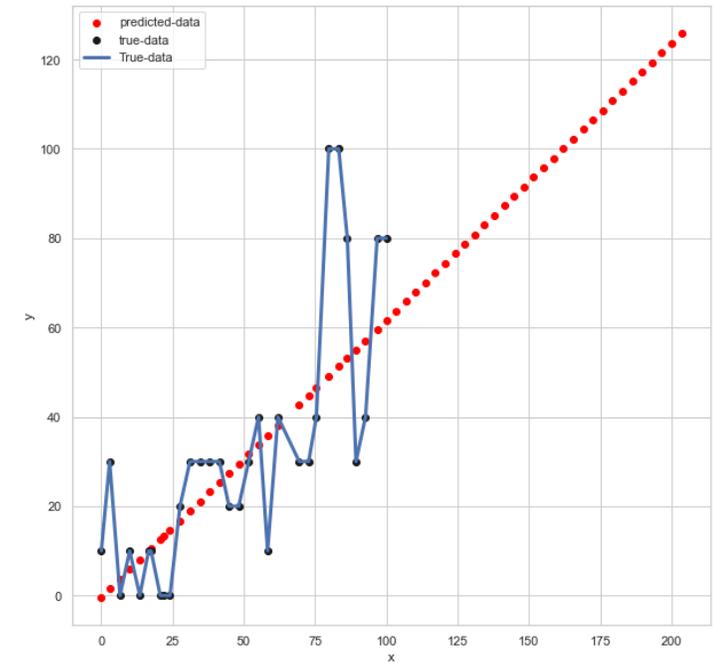
MODELÉ DE RÉGRESSION - RECHERCHE



Polynomiale



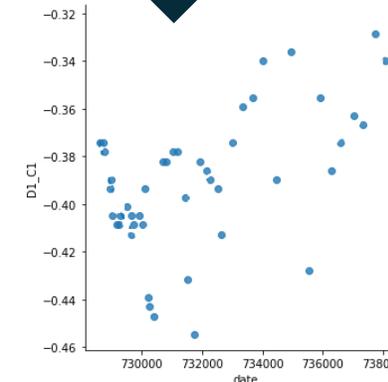
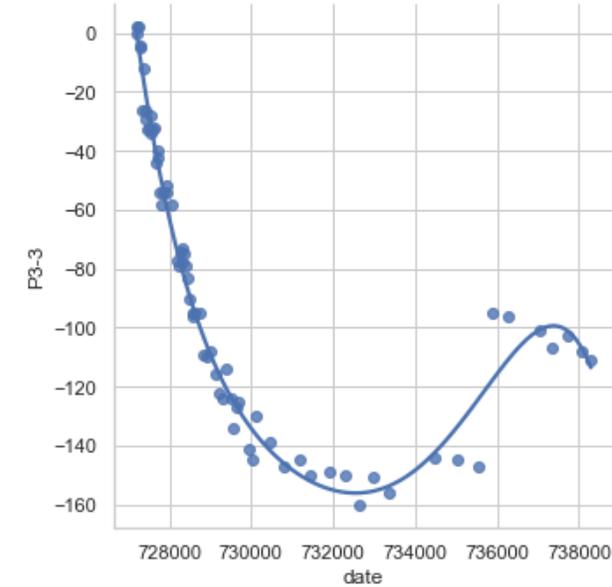
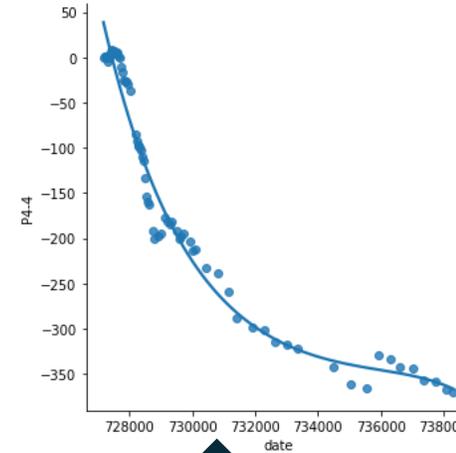
Logarithmique



Linéaire

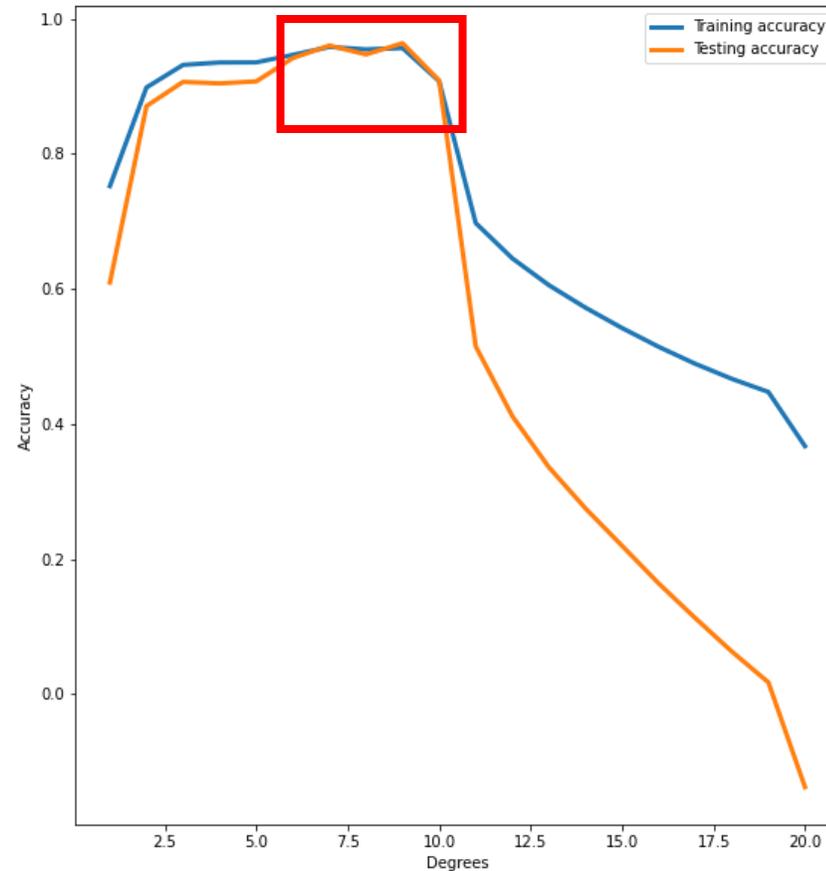
RÉGRESSION – PRÉCISION

Capteurs	Precision
80 % des elements	90 %
15 %	70% - 90%
5 %	Non applicable



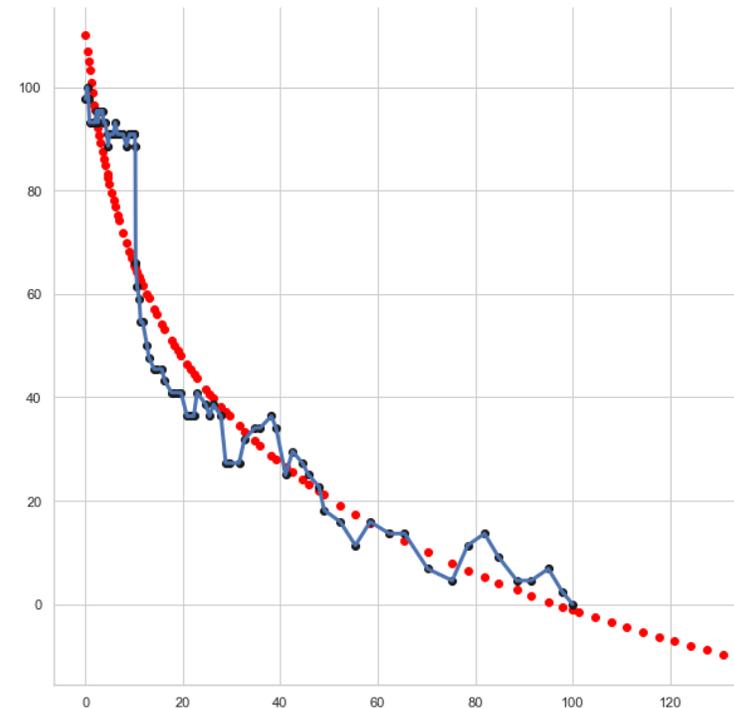
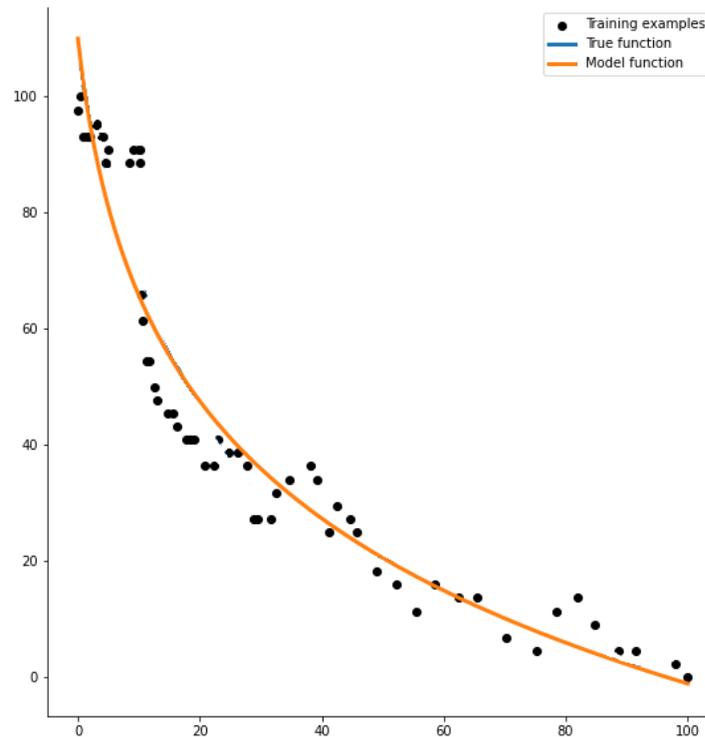
MODELÉ DE RÉGRESSION - RECHERCHE

- Pour chaque régression, recherche du meilleur coefficient de précision



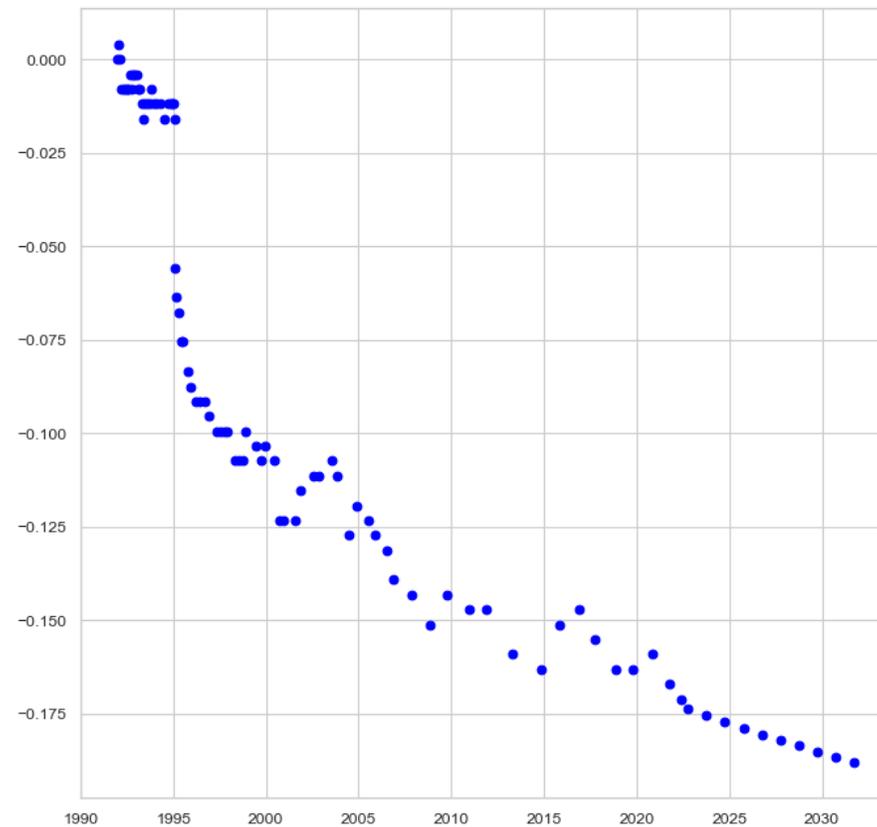
MODELÉ DE RÉGRESSION – APPLICATION

- Application coefficient sur les données
- Calcul des données prédictives

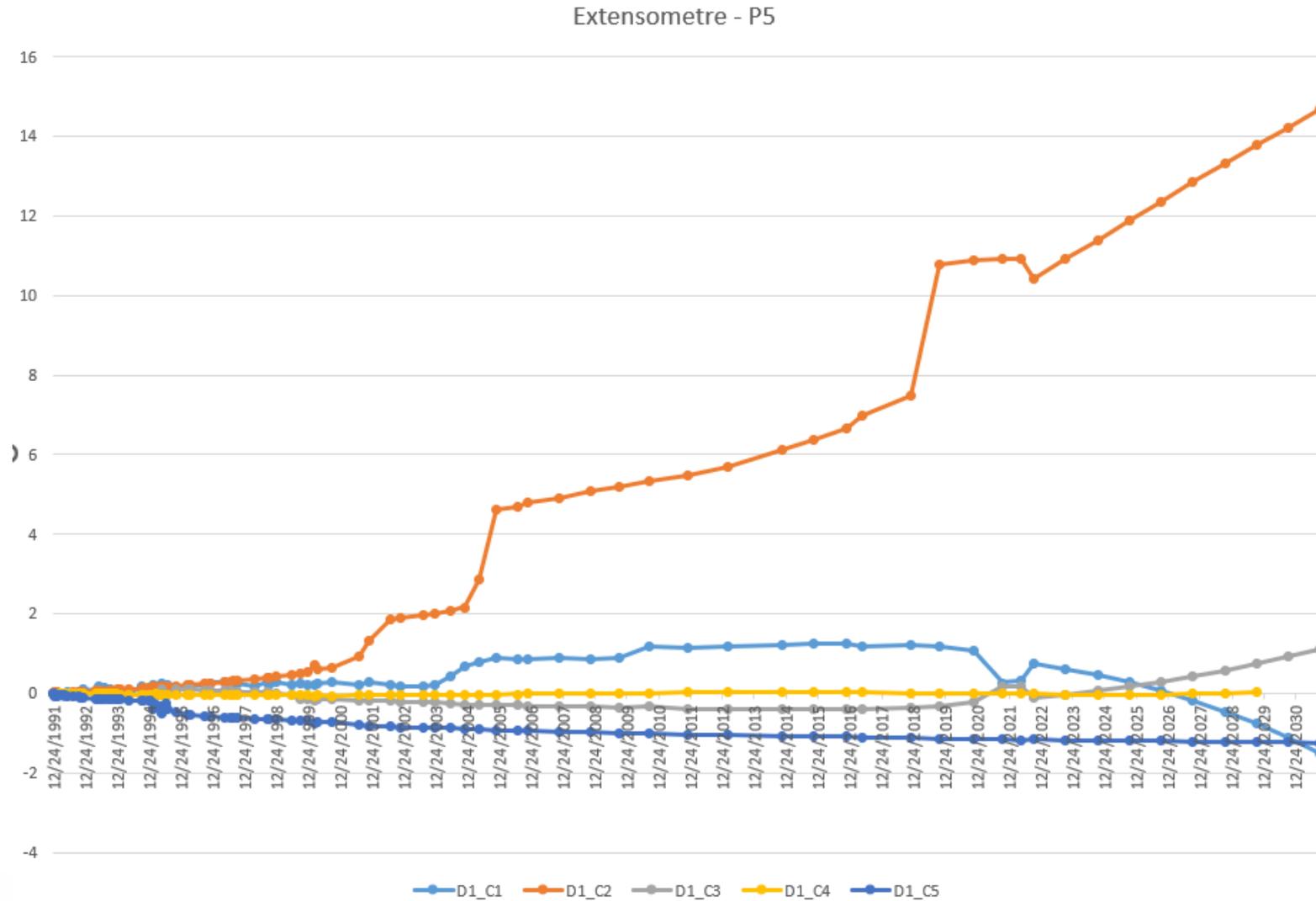


MODELÉ DE RÉGRESSION – APPLICATION

- Ajout des données calculées et reconversion à l'échelle de base



RÉGRESSION



04.

LE CHOIX DES DONNEES



LA SELECTION DES DONNEES

Algorithme de type « réseau de neurones »

- Prédiction fiable et à long terme, volume important de données (exploitables)
- Viaduc de BARDONNEX, 1 mesure/an depuis 1990 = Volume faible
- Choix d'utiliser l'ensemble des données
- Volume de données faibles -> Algorithme Machine Learning

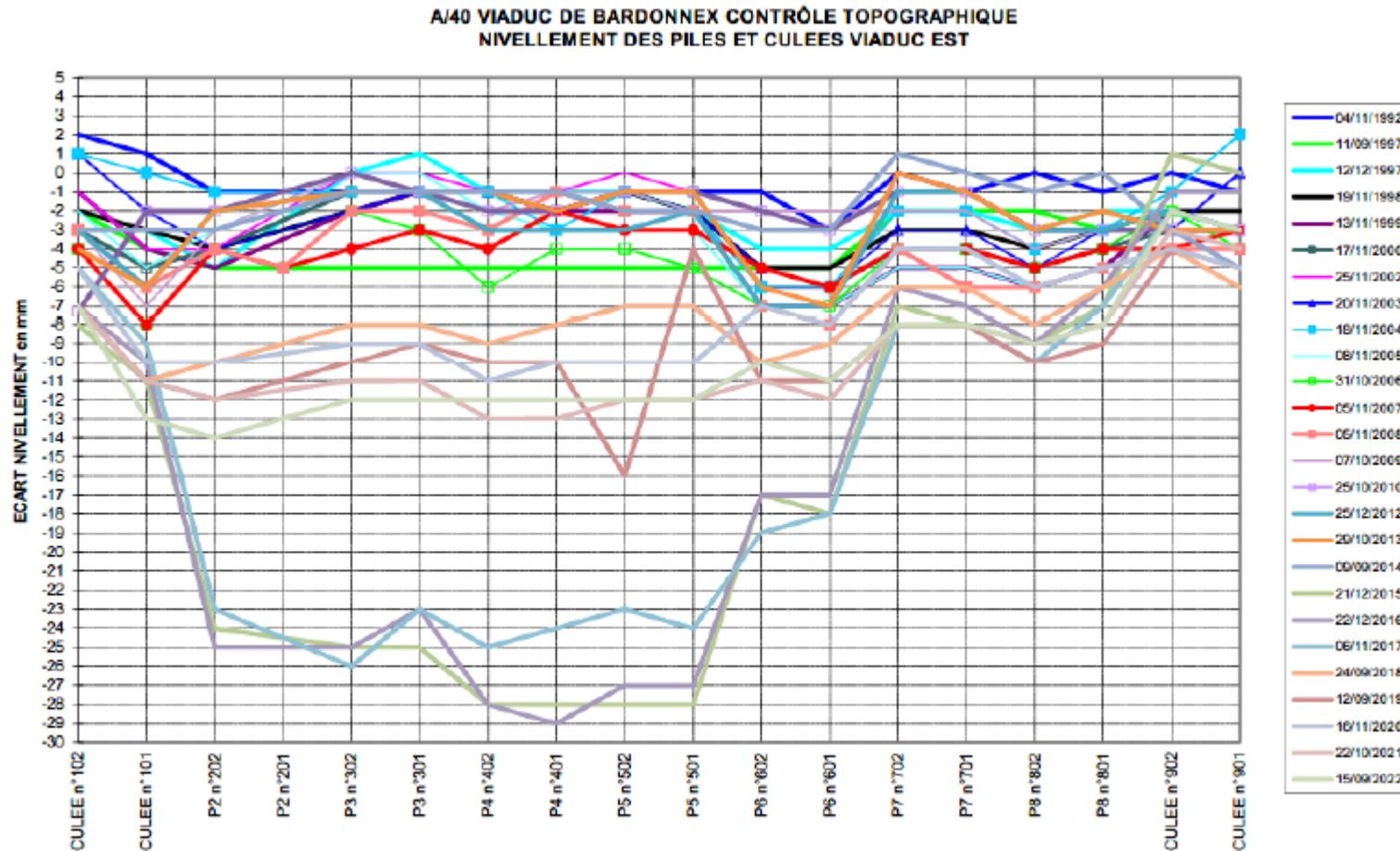
05.

L'ANALYSE DES RÉSULTATS



TOPOGRAPHIE

Tablier Est – Tablier, piles et culées



TOPOGRAPHIE

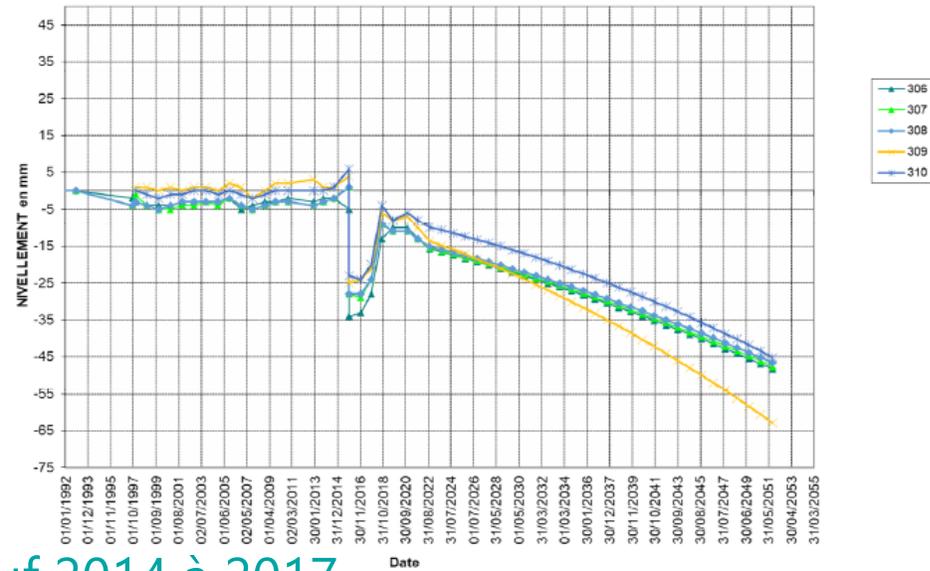
- L'influence du choix des données
- 3 itérations réalisées :
 1. Ensemble des données
 2. Ensemble des données, sauf les années 2014 à 2017
 3. Données avant 2014

TOPOGRAPHIE

Pile P3 Ouest

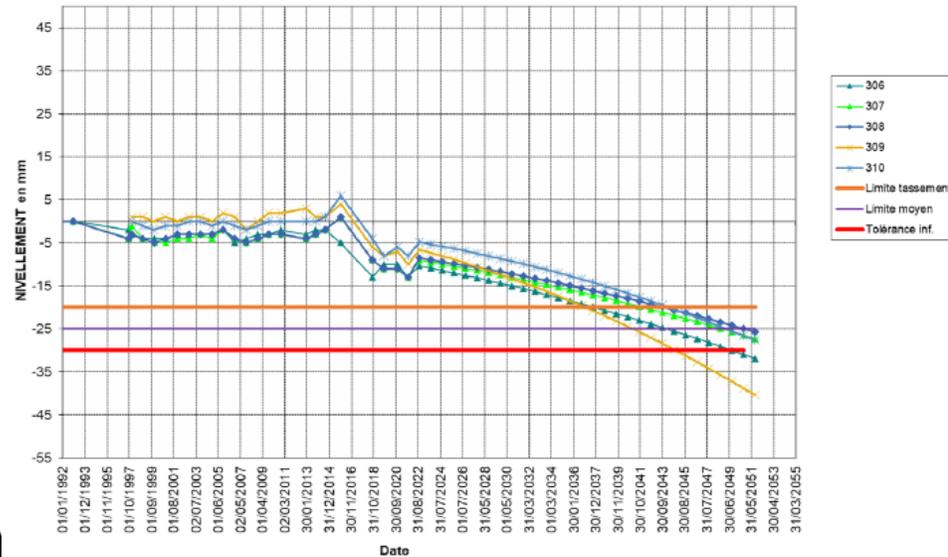
► Ensemble des données

Prédictions des nivellements de la pile P3 OUEST - 1ère iteration



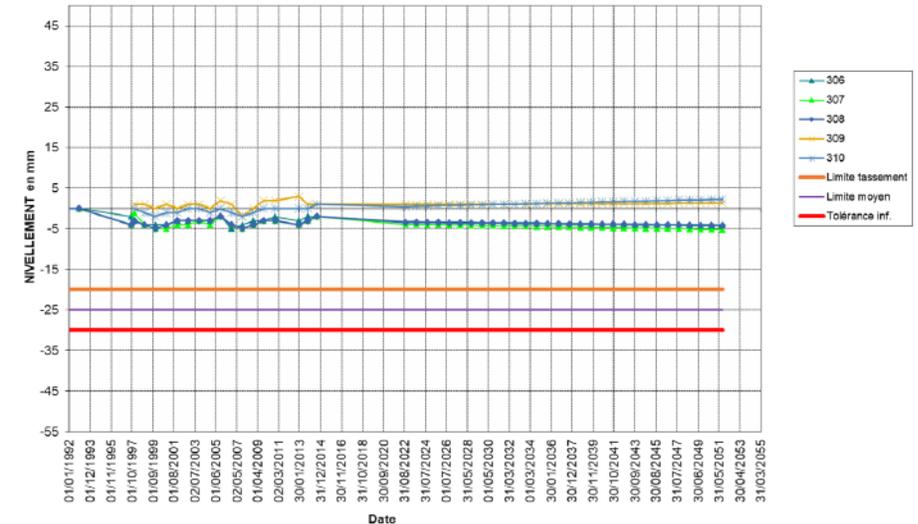
► Ensemble des données, sauf 2014 à 2017

Prédictions des nivellements de la pile P3 OUEST - 2ème iteration



► Données avant 2014

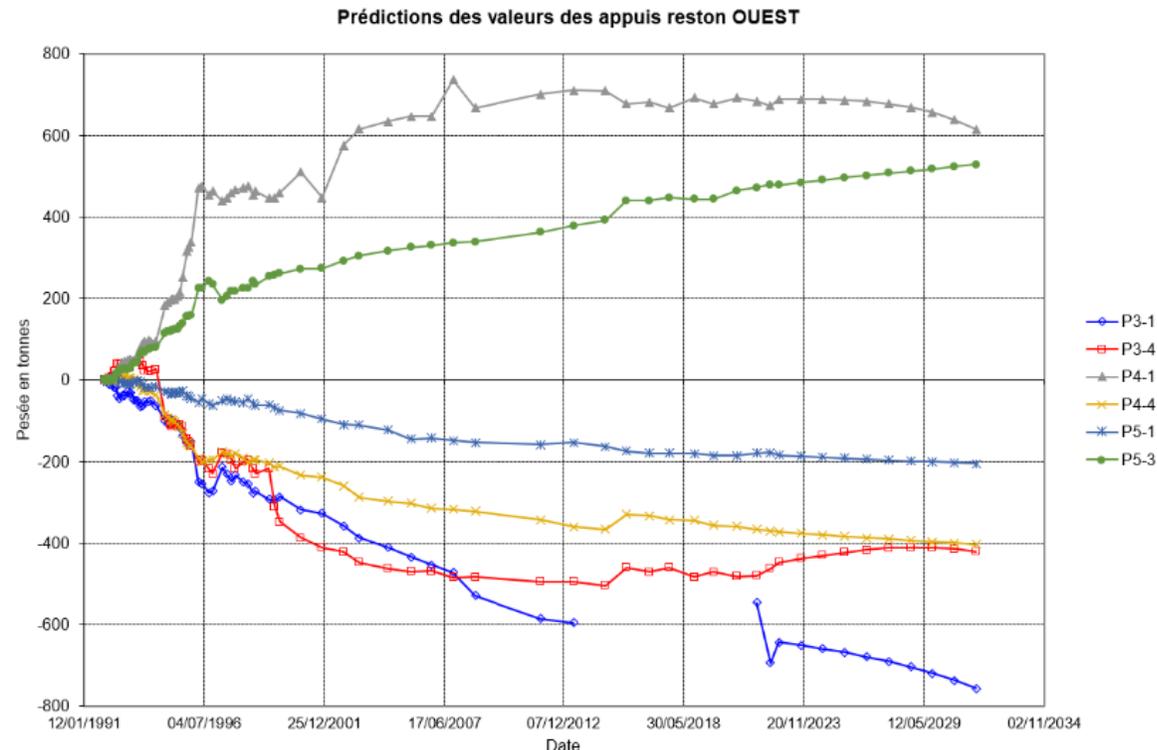
Prédictions des nivellements de la pile P3 OUEST - 3ème iteration



APPUIS RESTON

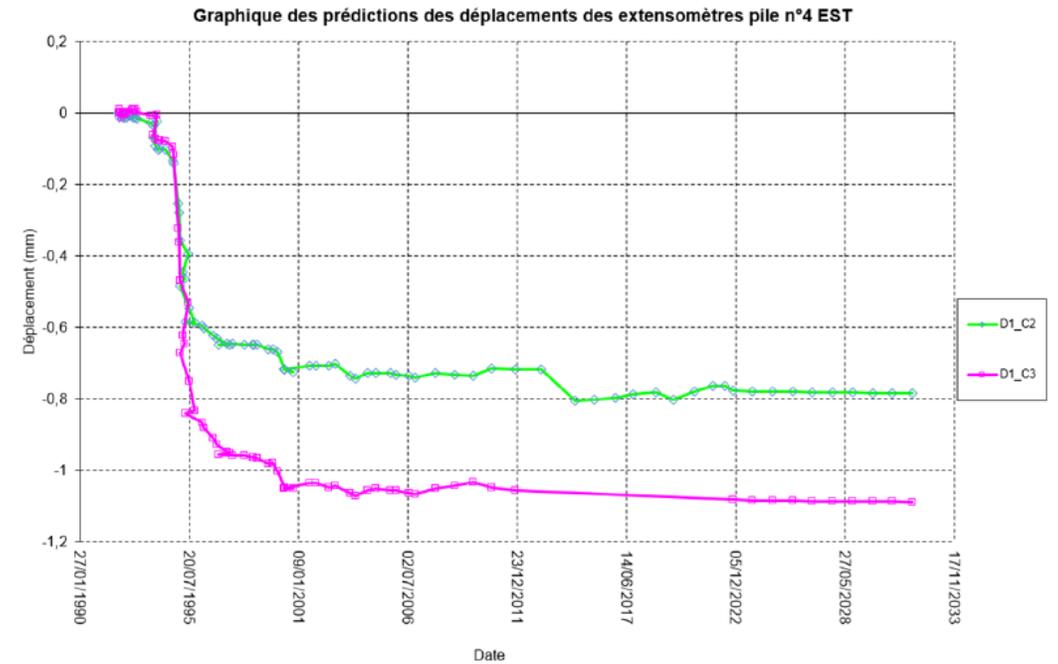
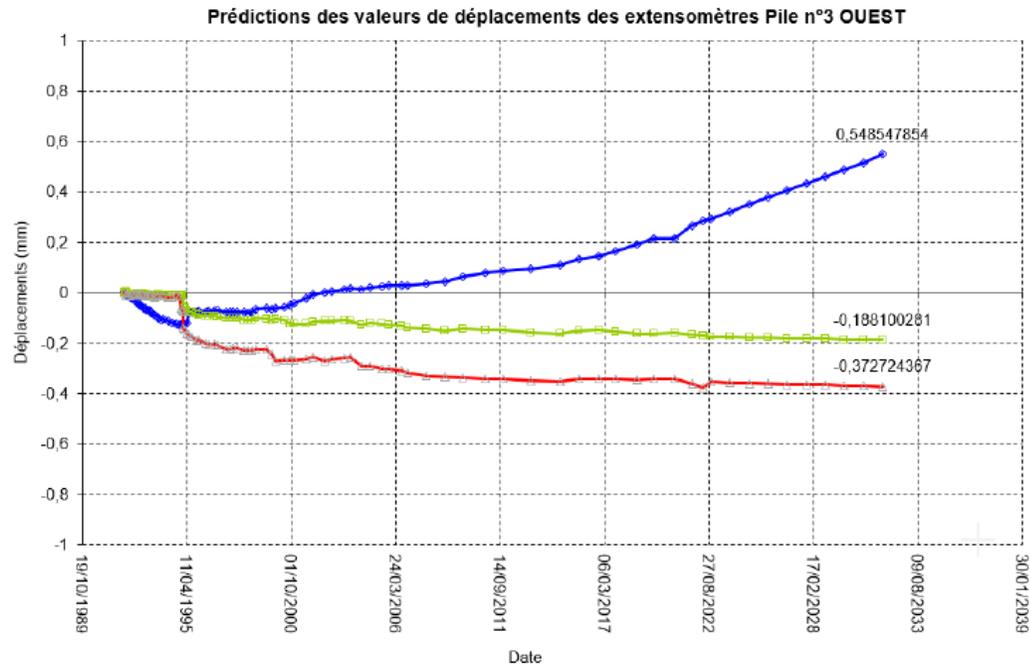
Dérive des mesures depuis le début du suivi

- Données utilisées uniquement pour permettre l'entraînement de l'algorithme



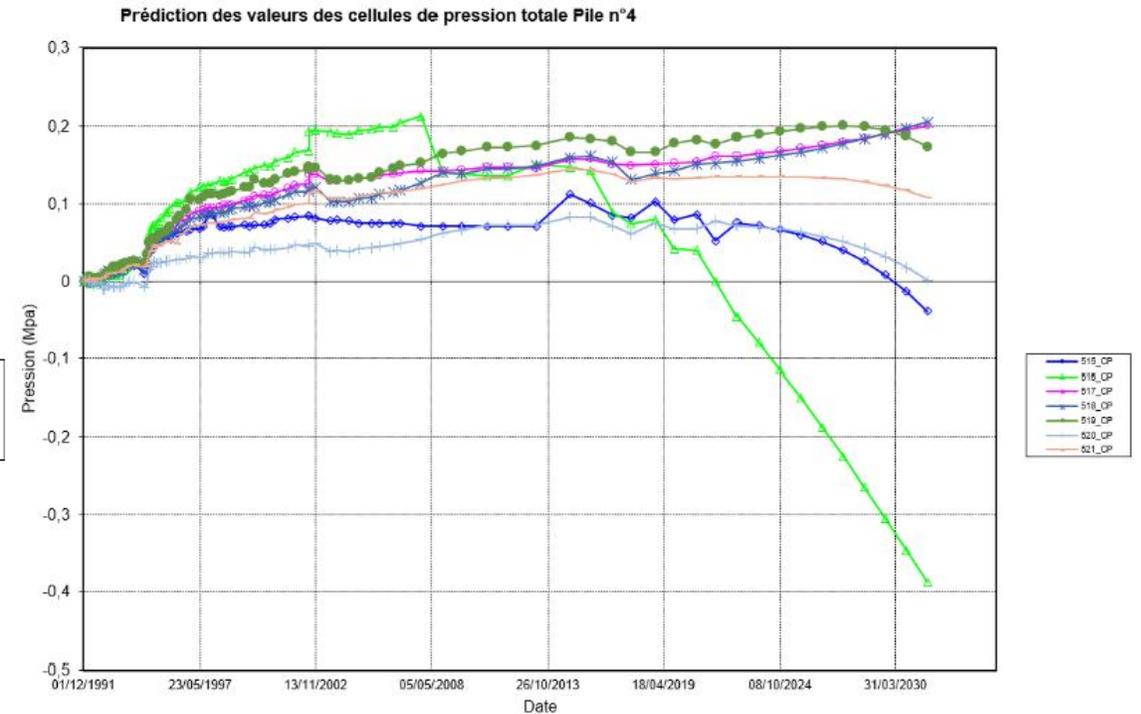
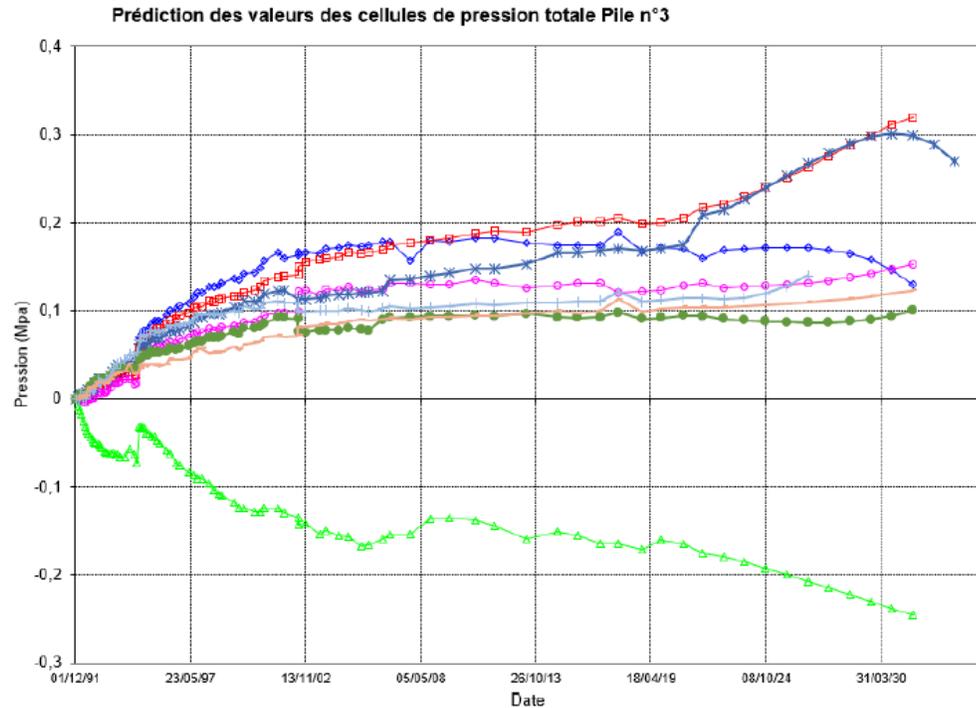
EXTENSOMÈTRES EN FORAGE

Mesures et prédictions fiables



CELLULES DE PRESSION TOTALE

Données assez fiables



06.

LES CRITERES DE VERIFICATION

CRITERES DE STABILITE DE L'OUVRAGE

3 critères pour le suivi des tassements
(article 1.2.2b chapitre III du CCTP)

1. Piles P3, P4 et P5 : tassement limité à 2 cm +/- 1 cm
2. Tassement absolu d'un appui : 3 cm
3. Tassement différentiel entre 2 appuis consécutifs : 2 cm

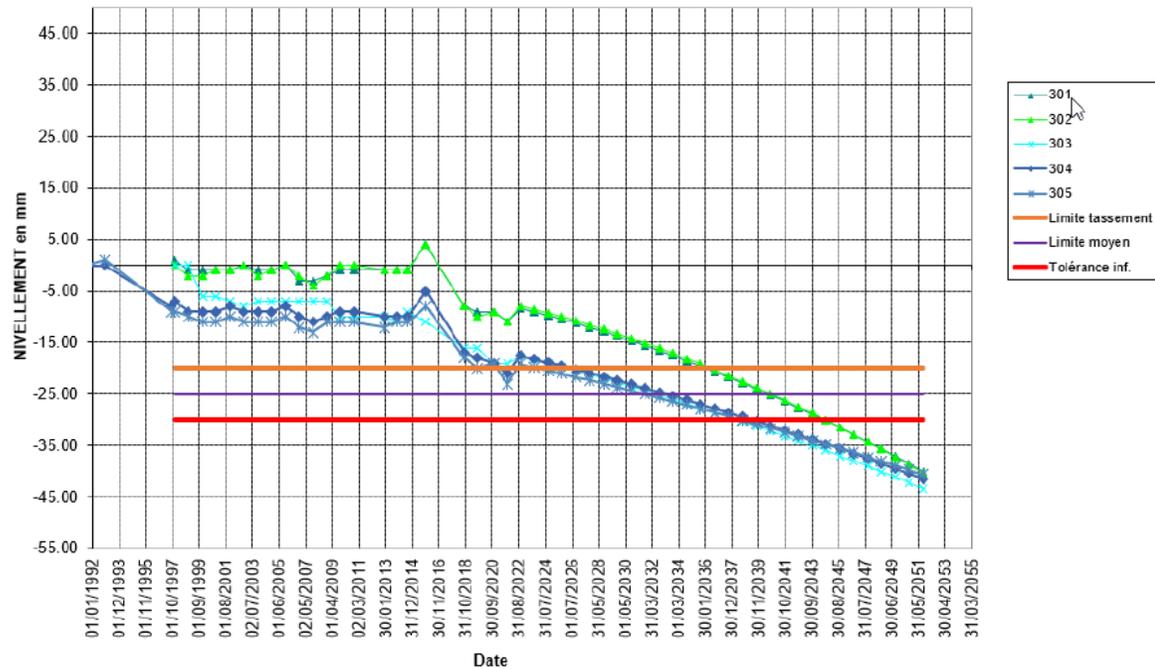
1^{ER} CRITÈRE

PILES P3, P4 ET P5 : TASSEMENT LIMITÉ À 2 CM +/- 1 CM

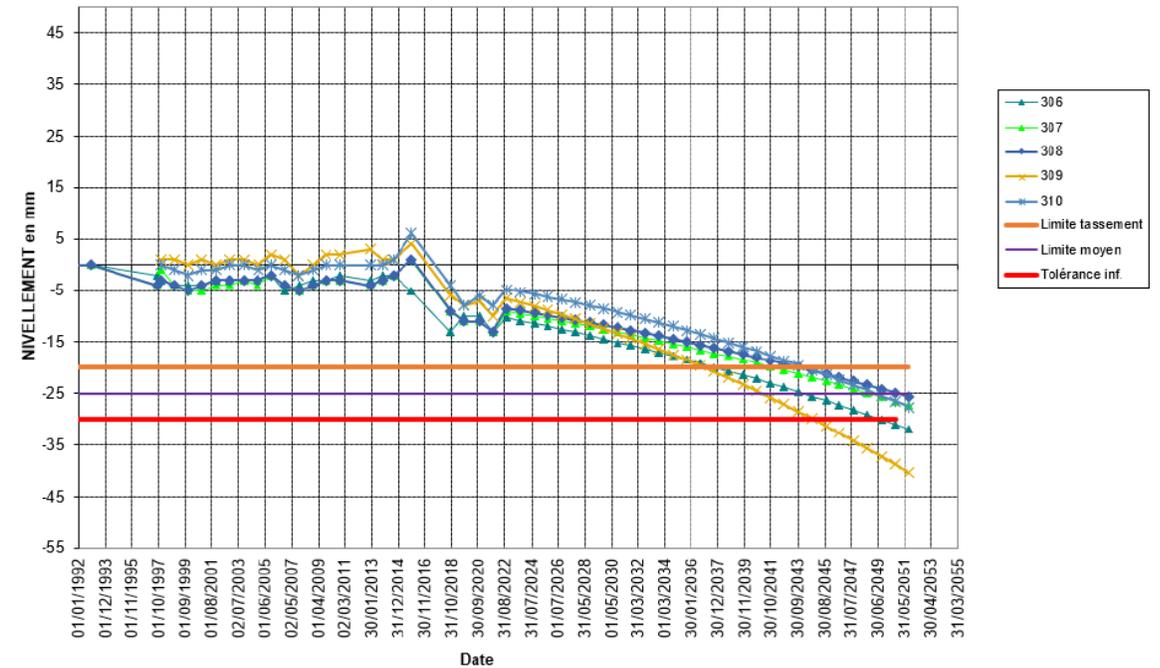
Analyse des données topographiques

PILE	Limite à - 2.5 cm	Limite à - 3 cm
P3 Est	2032	2038
P3 Ouest	2040	2044
P4 Est	/	/
P4 Ouest	2036	2039
P5 Est	2036	2040
P5 Ouest	2038	2042

Prédictions des nivellements de la pile P3 EST



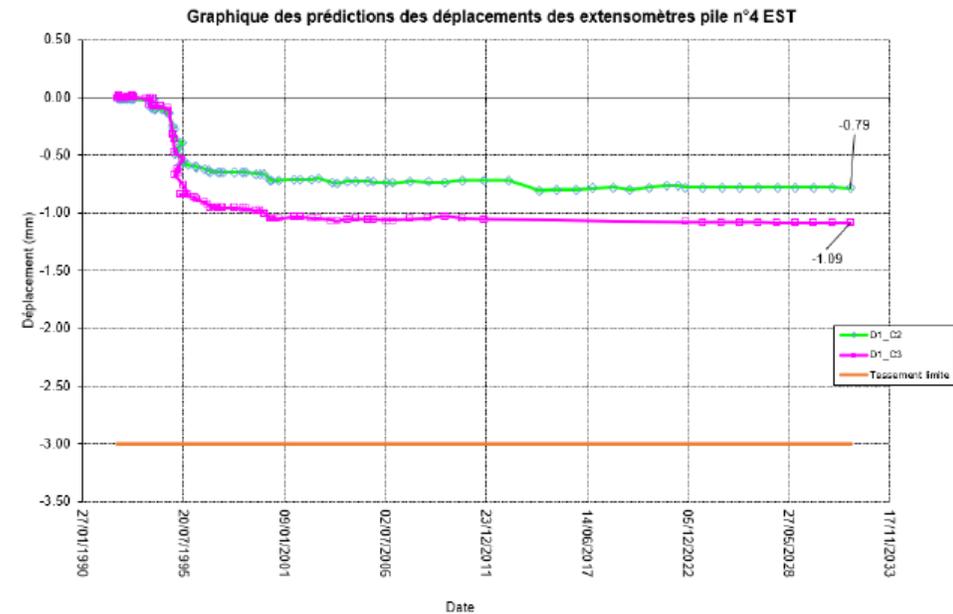
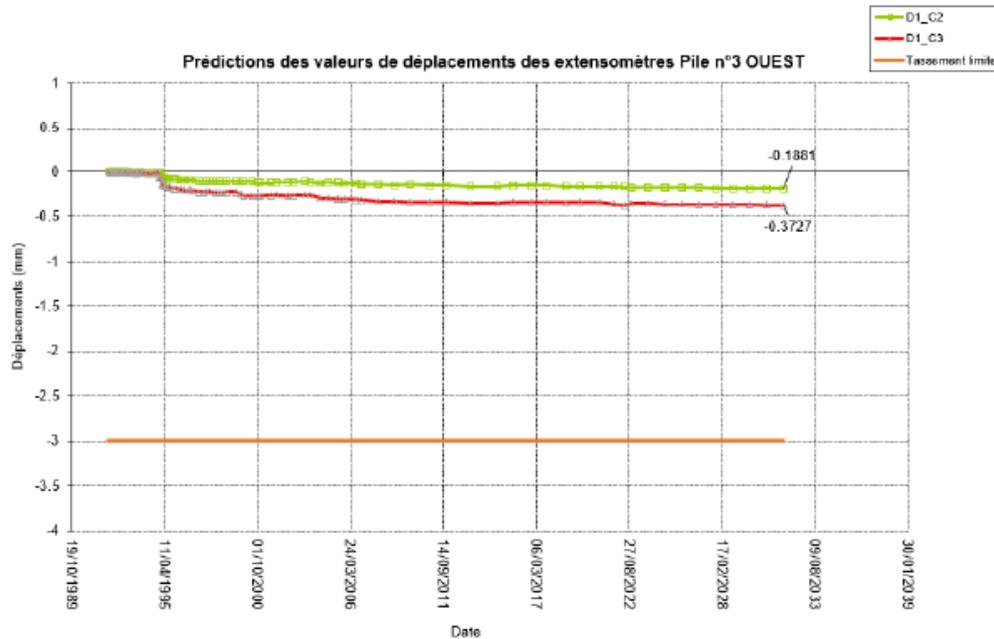
Prédictions des nivellements de la pile P3 OUEST



2^{ÈME} CRITÈRE TASSEMENT ABSOLU D'UN APPUI : 3 CM

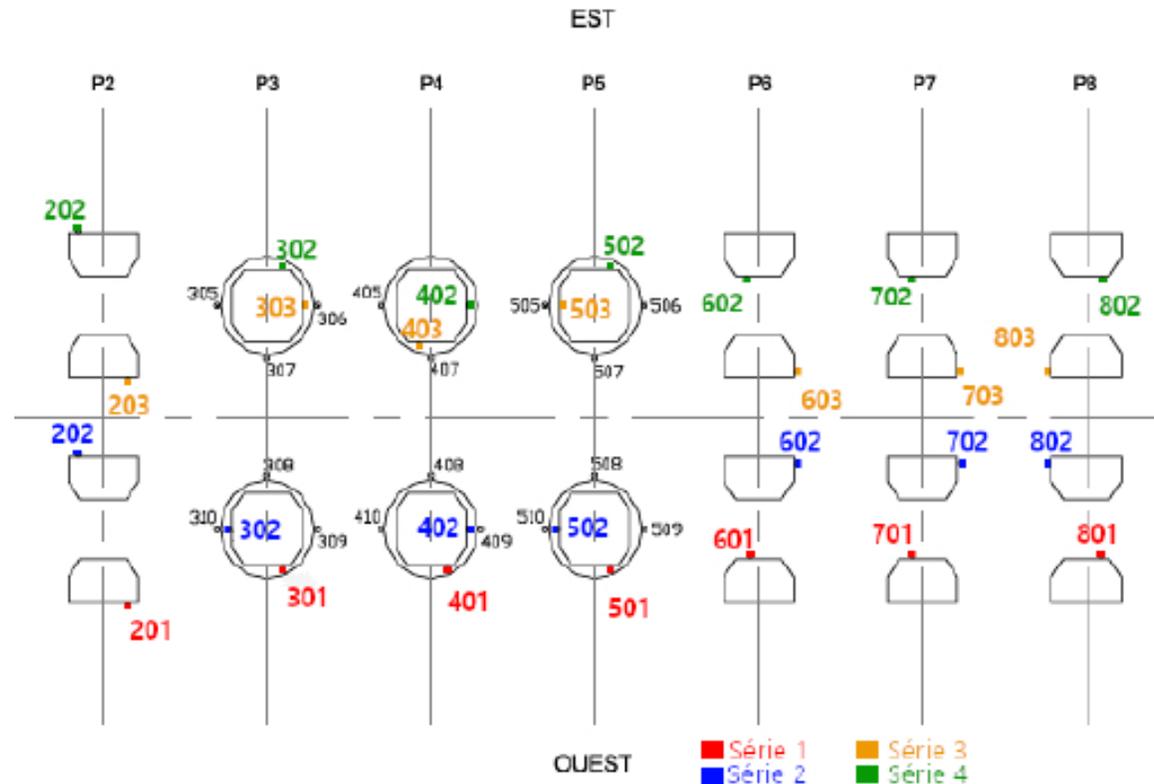
Analyse des données des extensomètres
(au lieu de celles des appuis RESTON)

PILE	Tassement max attendu en 2031
P3 Est	- 0.4 mm
P4 Est	- 1.1 mm
P5 Est	- 1.2 mm



3^{ÈME} CRITÈRE TASSEMENT DIFFÉRENTIEL ENTRE 2 APPUIS CONSÉCUTIFS : 2 CM

Analyse des données topographiques
Reconstitution de profils en long entre les piles



3ÈME CRITÈRE

TASSEMENT DIFFÉRENTIEL ENTRE 2 APPUIS CONSÉCUTIFS : 2 CM

Série 1 – Côté Ouest, extérieur piles

ÉCARTS	PILES											
	P2	P3W	P3W	P4W	P4W	P5W	P5W	P6	P6	P7	P7	P8
Écart maximum	/		Année 2051 2 mm	Année 2051 7 mm	Année 2051 16 mm	Année 2051 5 mm	Année 2051 3 mm					
Écart différentiel 2 cm	/		/	/	/	/	/					

Série 2 – Côté Ouest, intérieur piles

ÉCARTS	PILES											
	P2	P3W	P3W	P4W	P4W	P5W	P5W	P6	P6	P7	P7	P8
Écart maximum	Année 2051 10 mm		Année 2051 3 mm	Année 2051 5 mm	Année 2051 36 mm	Année 2051 4 mm	Année 2051 6 mm					
Écart différentiel 2 cm	/		/	/	Année 2040 20 mm	/	/					

Série 3 – Côté Est, intérieur piles

ÉCARTS	PILES											
	P2	P3E	P3E	P4E	P4E	P5E	P5E	P6	P6	P7	P7	P8
Écart maximum	Année 2051 13 mm		Année 2051 5 mm	Année 2051 13 mm	Année 2051 15 mm	Année 2051 2 mm	Année 2051 2 mm					
Écart différentiel 2 cm	/		/	/	Année 2040 20 mm	/	/					

Série 4 – Côté Est, extérieur piles

ÉCARTS	PILES											
	P2	P3E	P3E	P4E	P4E	P5E	P5E	P6	P6	P7	P7	P8
Écart maximum	Année 2051 16 mm		Année 2051 19 mm	Année 2051 25 mm	Année 2051 21 mm	Année 2051 0 mm	Année 2051 4 mm					
Écart différentiel 2 cm	/		/	Année 2023 20 mm	Année 2049 20 mm	/	/					

ANALYSE DES 3 CRITÈRES

1^{er} critère :

- Dépassement de la limite supérieure (3 cm) uniquement pour les piles P3 Est, en 2038 et P3 Ouest, en 2044

2^{ème} critère

- Pas de dépassement du seuil maximal (tassement absolu d'un appui de 3 cm)

3^{ème} critère :

- Une seule valeur qui dépasse franchement le seuil de 2 cm.
Cependant, vu la position des cibles, dépassement pas pris en compte

07.

CONCLUSIONS



CONCLUSIONS

Données

- Suivi annuel depuis 1991, mais une mesure par an, pas assez pour appréhender le comportement de l'ouvrage

Algorithme

- Bon choix de passer sur un algorithme « actuel », langage Python.
Prévisions fiables à plus de 90% pour 85% des données

Analyses

- Nécessité de réaliser 3 itérations pour les données topographiques, afin de trouver le comportement de l'ouvrage le plus « réaliste »

Critères

- En théorie, pas d'interventions (GER) avant 2032.
Besoin de recouper les mesure et l'analyse du comportement de l'ouvrage avec d'autres méthodes (interférométrie InSAR, par ex.)

PERSPECTIVES

Déploiement de l'utilisation d'un algorithme type réseau de neurones

- Conditionné à une étude de faisabilité (qualification des données, volume des mesures disponibles, etc.), et avec l'établissement de critères de comportement de l'ouvrage
- Mettre en place des plans de surveillance des ouvrages plus importants (automatisation des mesures), utiliser des technologies de mesure complémentaires interférométrie InSAR) au technologies classiques

MERCI POUR VOTRE ATTENTION