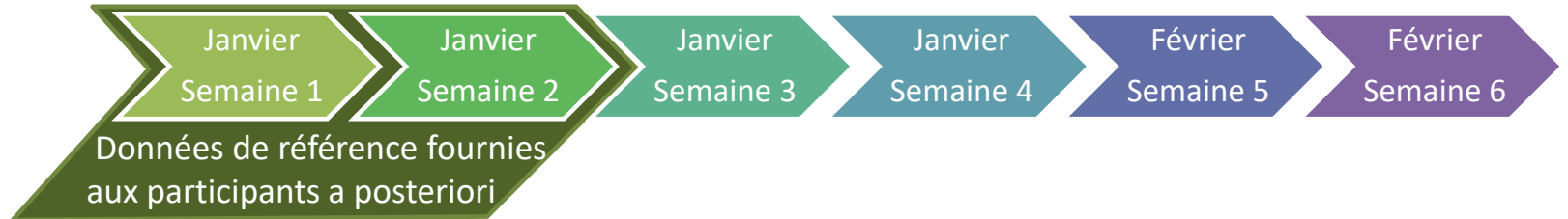


# ESSAI D'APTITUDE MICRO-CAPTEURS 2018 : ENSEIGNEMENTS, MISE EN ŒUVRE TERRAIN, ACQUISITION/TRANSMISSION DE DONNÉES ET RÉSULTATS

Nathalie Redon, Sabine Crunaire, Benoît Herbin  
 Enseignante-Chercheuse - LCSQA - IMT Lille Douai  
 Laurent Spinelle, Caroline Marchand  
 Ingénieur Recherche et Développement - LCSQA - INERIS

Séminaire « CAPTEURS ET QUALITÉ DE L'AIR : UNE (R)ÉVOLUTION ? »  
 2018

**Objectif** : placer en conditions réelles un grand nombre de systèmes différents afin d'évaluer leur aptitude à quantifier 4 polluants réglementés pour l'air ambiant : NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et les particules (PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>)



- Site de typologie urbaine : station Dorignies – IMT Lille Douai
- Participation ouverte
  - aux fournisseurs/distributeurs : Airmatrix, Ecomesure, Vaisala, Rubix, Environnement SA, Addair, Envicontrol, 42 Factory, Clarity Movement, Lauxa France
  - aux AASQA : Atmo AuRA, Atmo Grand Est, Qualit'Air Corse, Atmo Normandie, Atmo HdF
  - au LCSQA : IMT Lille Douai, Ineris

**16 participants**

**44 dispositifs au total** (répliquas inclus)

**17 systèmes de conception et d'origines différentes**

*France, Pays-Bas, Royaume-Uni, Espagne, Italie, Pologne, États-Unis*

17 systèmes différents dont 9 mono-espèces vs 8 multi-espèces



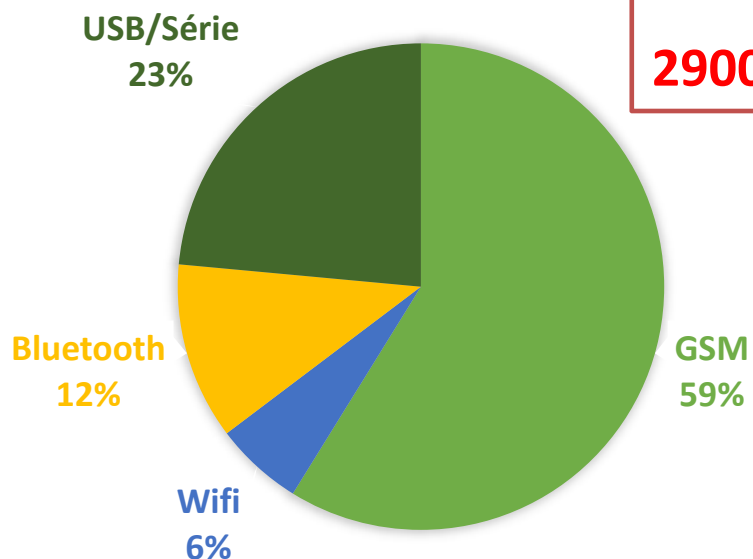
Micro-capteurs	
PM	Airmatrix (Normandie Tech'Air)
	Airbeam (AirCasting)
	OPC-N2 (Alphasense)
	Clarity Node (Clarity Movement)
	NPM 2 (Met One Instruments Inc.)
	ES-642 (Met One Instruments Inc.)
	Atmotrack (AtmoTrack by 42 Factory)
e-PM (EcologicSense Tera-Environnement)	
NO <sub>2</sub>	Cairclip (Cairpol-Environnement SA)
O <sub>3</sub>	Serie 500 Monitor (Aeroqual)

Mini-stations		
Commercialisés	ECOMSMART (ECOMESURE)	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> et PM <sub>1</sub>
	AQT420 (Vaisala)	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>
	Watchtower 1 (Rubix Senses & Instrumentation)	NO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>1</sub>
	Cairnet (Cairpol-Environnement SA)	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> /NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub>
	AQMesh (Environmental Instruments Ltd)	NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>1</sub>
	GreenBee (Azimut Monitoring)	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> et PM <sub>1</sub>
Do it yourself/ Opensource	Waspote Plug & Sense!/Smart Environnement PRO (Libelium)	NO, NO <sub>2</sub> (x3), PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>1</sub>
	AirSensEUR	NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO

# Spécificités de systèmes micro-Capteurs

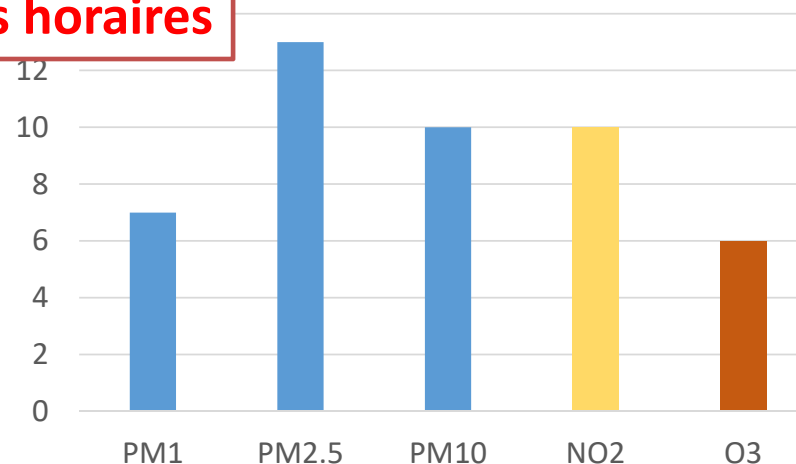
17 systèmes différents dont 9 mono-espèces vs 8 multi-espèces

Mode de communication



>70 Millions de données  
↓  
290000 données horaires

Espèces mesurées



- **Bluetooth/USB/Wifi** : pertes de données et systèmes plantés régulièrement
- **GSM** : inaccessibilité directe aux données, panne des serveurs hôtes, données manquantes
- **Synchronisation temporelle** : décalage temporel, tempo d'acquisition non-réglable
- **Ecart d'unités pour une même espèce** : ppb – ppm -  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## Diapositive 4

---

**CS2**      à garder ? --> espèces déjà dit juste avant  
CRUNAIRE Sabine; 03/10/2018

## Instrumentation de référence

Polluant	Matériel de référence ou équivalent	Résolution temporelle
Ozone	O342e (Environnement SA)	minute + ¼ horaire
NO <sub>2</sub>	AS32M (Environnement SA)	minute + ¼ horaire
NO/NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub>	TEI 42C (Thermo)	minute + ¼ horaire
PM <sub>2,5</sub>	BAM (Met One - massique)	horaire
PM <sub>10</sub>	1405-F (Thermo - massique)	horaire
PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub>	FIDAS 200 S (PALAS – massique) FIDAS 200 S (PALAS - comptage et répartition granulométrique)	minute minute

Pas de temps Mesures de référence

→ Uniformisation entre les différentes méthodes de référence en données horaires

Pas de temps Micro-capteurs

Données minutes → Données horaires  
« moyenne heure précédente »

## Représentativité des données de référence

Données de référence	Min	Max	Moy.	Médiane
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	< LD	98	22	17
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	< LD	74	15	10
O <sub>3</sub> (ppb)	< LD	113	20	21
NO <sub>2</sub> (ppb)	2	46	13	11
T (°C)	-3	14	4	4
HR (%)	47	98	86	88

Concentrations annuelles en France en NO<sub>2</sub>

- moy. an. 2017 site urbain 19 µg/m<sup>3</sup>
- moy. an. 2017 proximité trafic 39 µg/m<sup>3</sup>

## Instrumentation de référence

Polluant	Matériel de référence ou équivalent	Résolution temporelle
Ozone	O342e (Environnement SA)	minute + ¼ horaire
NO <sub>2</sub>	AS32M (Environnement SA)	minute + ¼ horaire
NO/NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub>	TEI 42C (Thermo)	minute + ¼ horaire
PM <sub>2,5</sub>	BAM (Met One - massique)	horaire
PM <sub>10</sub>	1405-F (Thermo - massique)	horaire
PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub>	FIDAS 200 S (PALAS – massique) FIDAS 200 S (PALAS - comptage et répartition granulométrique)	minute minute

### Pas de temps Mesures de référence

→ Uniformisation entre les différentes méthodes de référence en données horaires

### Pas de temps Micro-capteurs

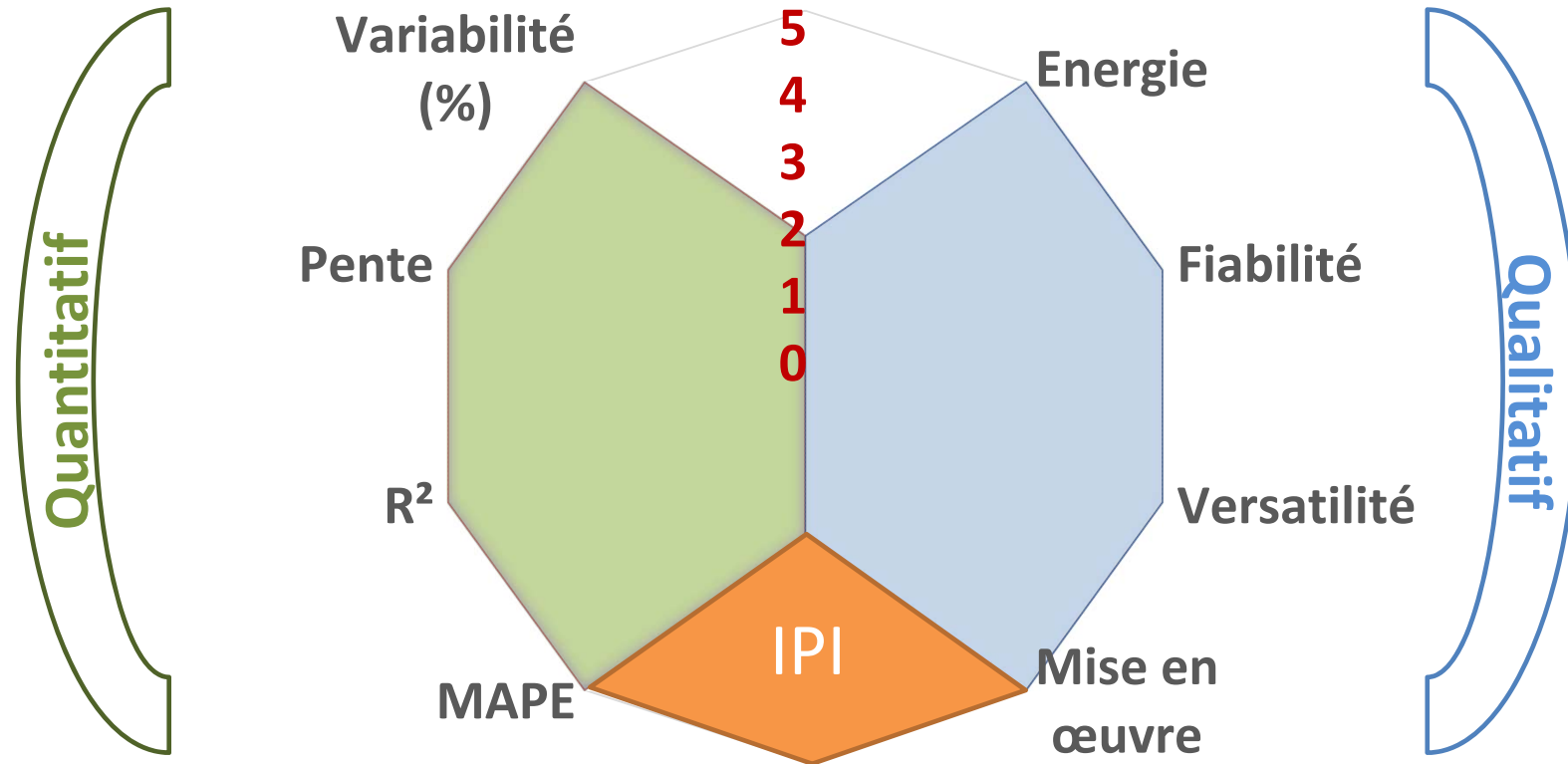
Données minutes → Données horaires  
« moyenne heure précédente »

## Représentativité des données de référence

Données de référence	Min	Max	Moy.	Médiane
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	< LD	98	22	17
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	< LD	74	15	10
O <sub>3</sub> (ppb)	< LD	113	20	21
NO <sub>2</sub> (ppb)	2	46	13	11
T (°C)	-3	14	4	4
HR (%)	47	98	86	88

### Concentrations annuelles en France en PM<sub>2,5</sub>

- moy. an. 2017 site urbain 13 µg/m<sup>3</sup>
- moy. an. 2017 proximité trafic 11 µg/m<sup>3</sup>





Energie		
Nb de type de sources possible (secteur, batterie)	+apport NRJ recharge hors secteur (solaire/éolien)	Autonomie annoncée

Fiabilité
Couverture temporelle comparée aux méthodes de références respectives

Versatilité			
Communication locale, Filaire (propriétaire, USB, Ethernet), sans fil local (wifi, Bluetooth, zigbee, LoRa), sans fil GSM	Visualisation/Remontée /Stockage des données (local, SD, logiciel tiers, serveur, api)	Données brutes/ traitées/ étalonnées ou vérifiées/ étalonnables	Nb possible de paramètres mesurés, autres polluants, localisation, T(°C) HR(%), etc.

Mise en œuvre				
Installation physique (patte de fixation, étanchéité, IP, tenue à la rouille, etc)	Documentation technique (absente, fournie, téléchargeable, manuel d'utilisation, performances, diagnostics QA/QC)	Facilité de maintenance, contrôle du bon fonctionnement	Installation électrique (alimentation fournie ou pas, compatibilité avec prise secteur, longueur de câble)	Accessibilité à la donnée (dématérialisée ou pas, si locale, par câble ou action de démontage, nécessité d'un logiciel tiers, etc)

5  
4  
3  
2

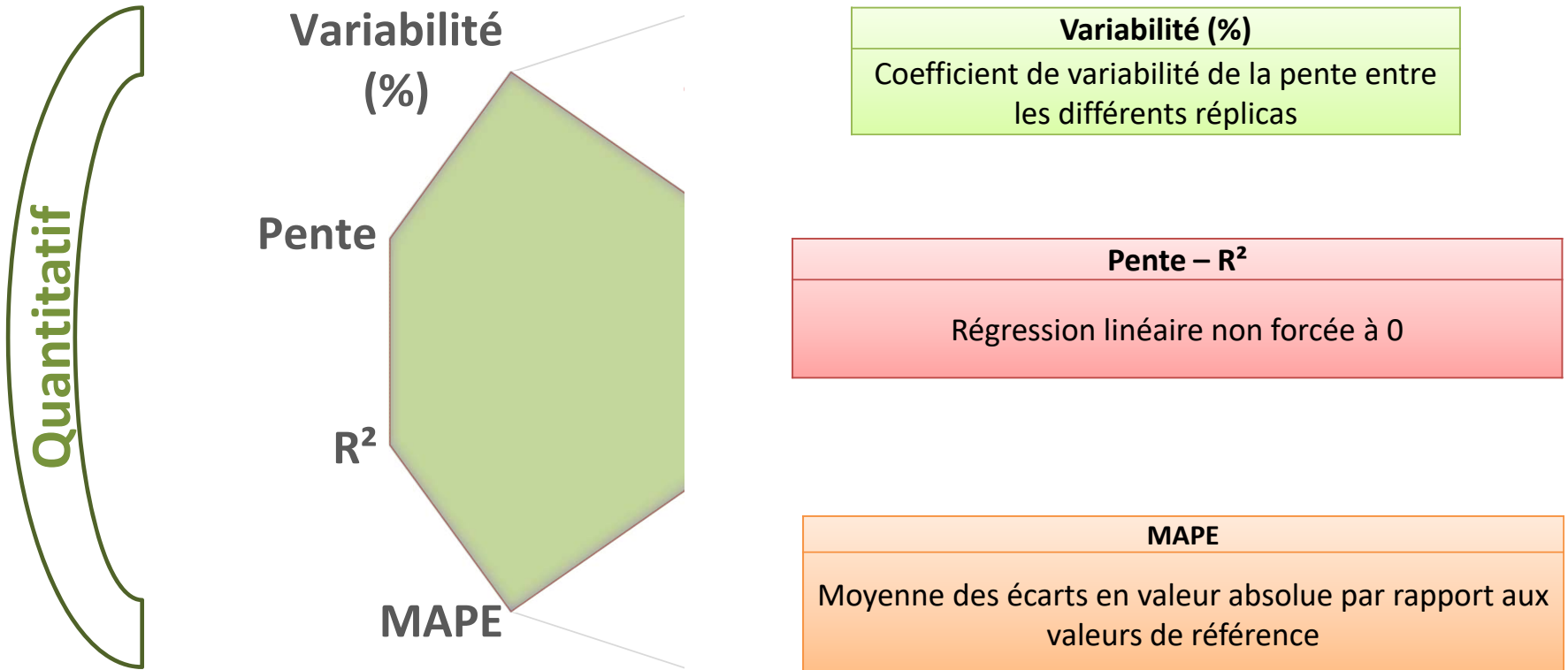
Energie

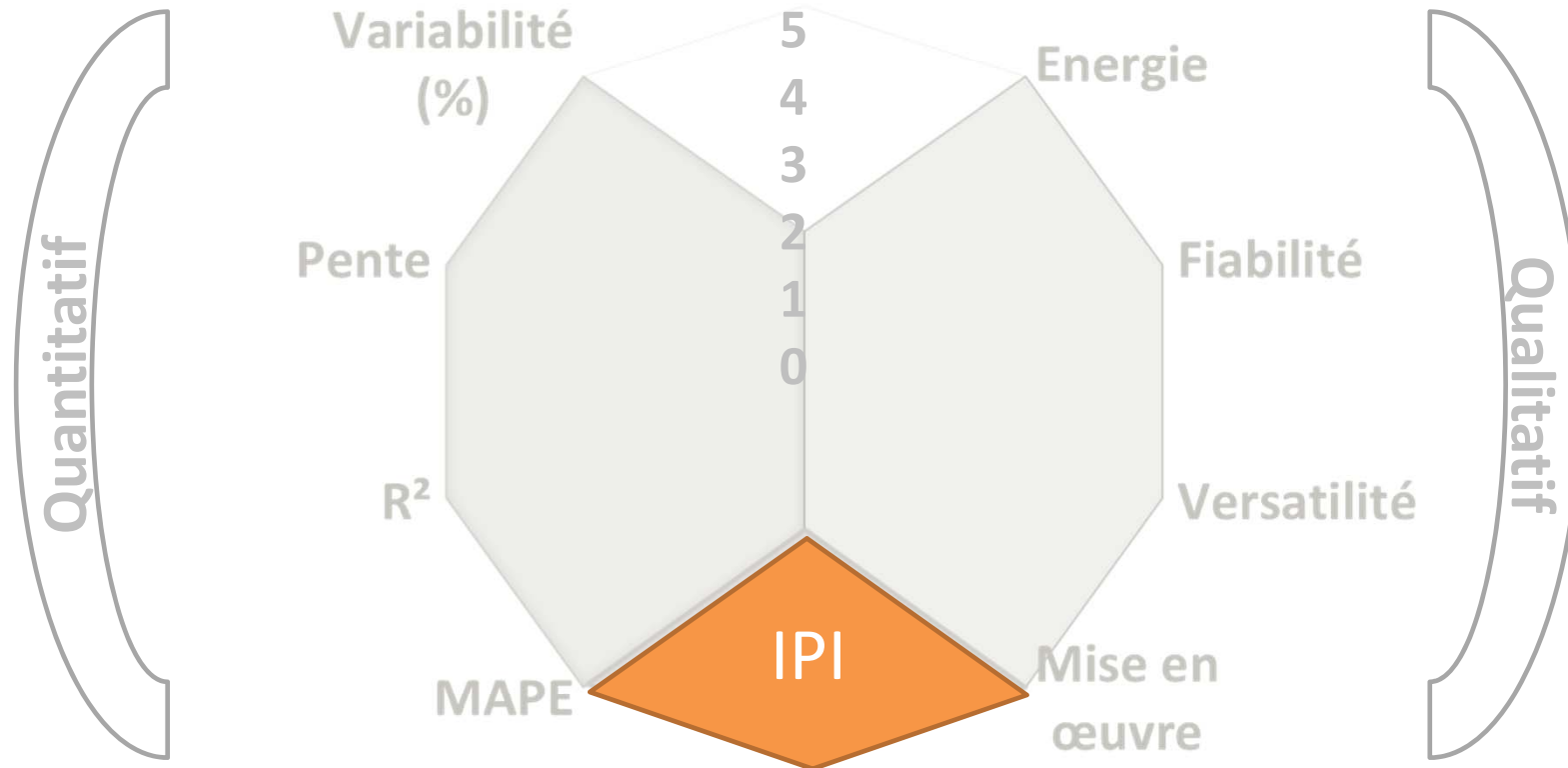
Fiabilité

Versatilité

Mise en œuvre

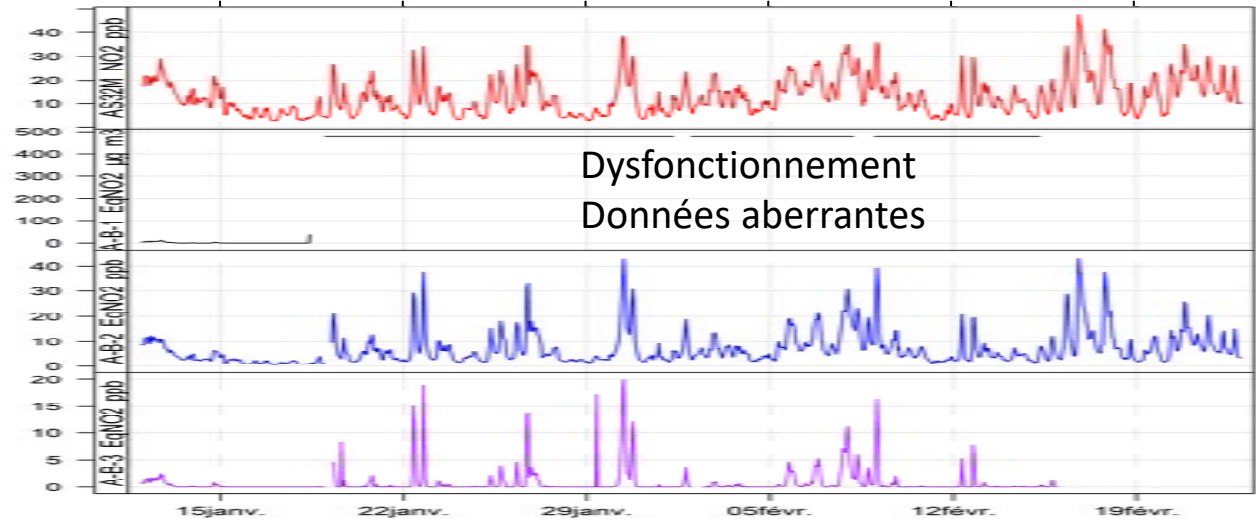






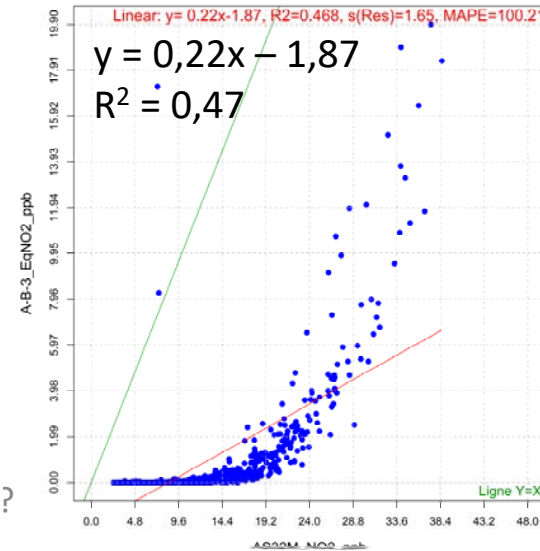
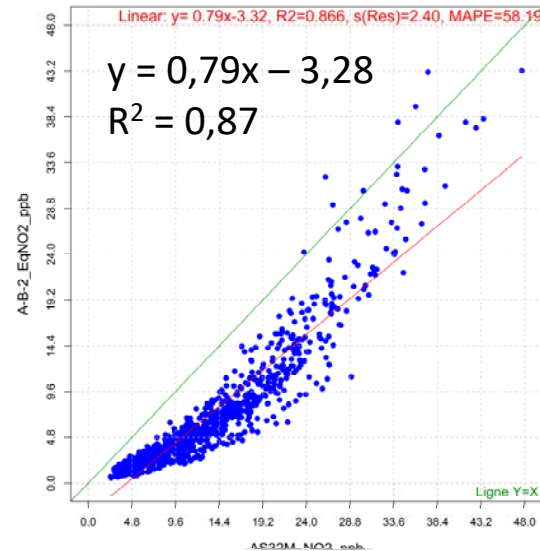
*An evaluation tool kit of air quality micro-sensing units*  
**B. Fishbain & al.**  
[Science of the Total Environment 575 \(2017\) 639–648](#)

Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
AS32M_NO2_ppb	AB	3	74,9
	C	3	77,4
	D	3	77,2
	EA	1	80,8
	EB	1	89,2
	EC	2	77,2
	F	1	68,6
	HA	2	69,3
	J	3	67,4
	L	1	30,8
M-B	2	80,1	

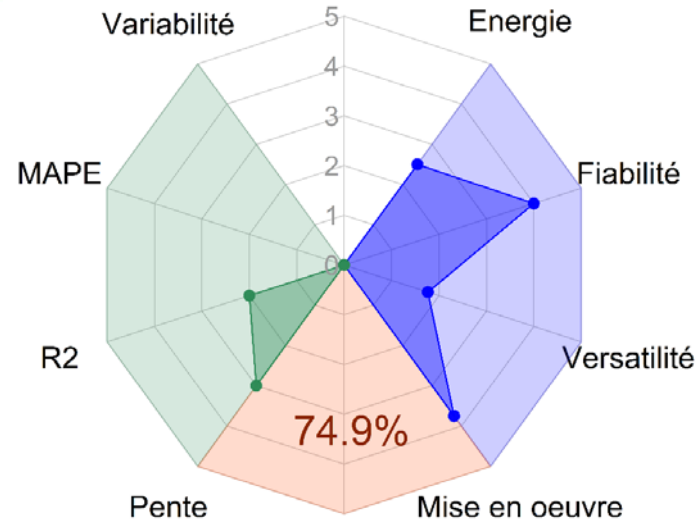


Dysfonctionnement  
Données aberrantes

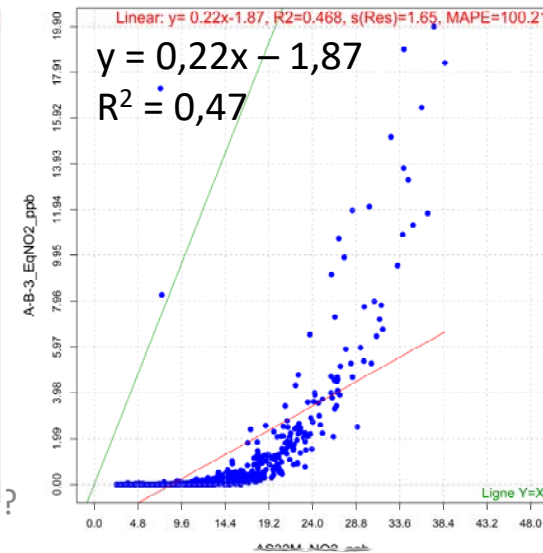
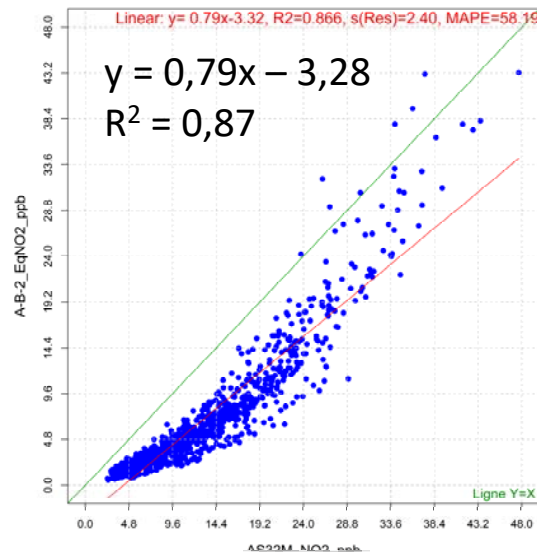
- Réponses non linéaires
- Décalage LD → perte de sensibilité lié au vieillissement



Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
AS32M_NO2_ppb	AB	3	74,9
	C	3	77,4
	D	3	77,2
	EA	1	80,8
	EB	1	89,2
	EC	2	77,2
	F	1	68,6
	HA	2	69,3
	J	3	67,4
	L	1	30,8
	M-B	2	80,1

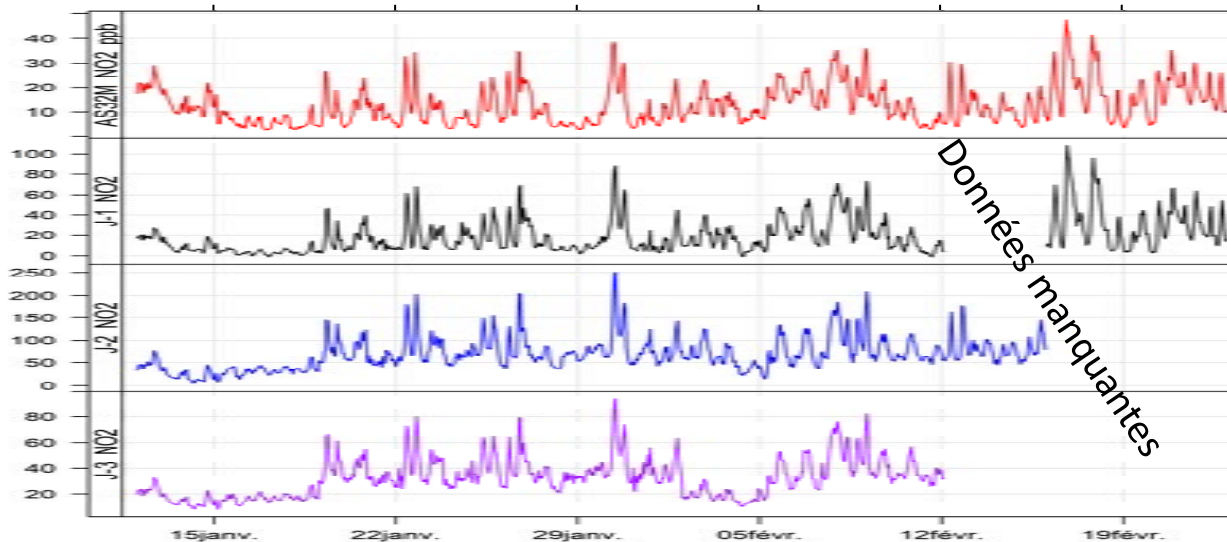


IPI

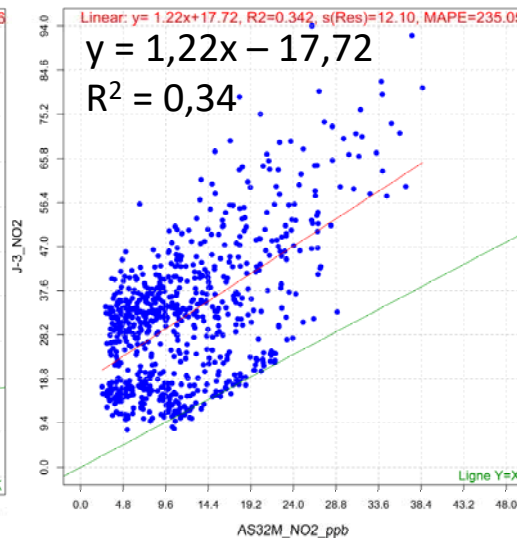
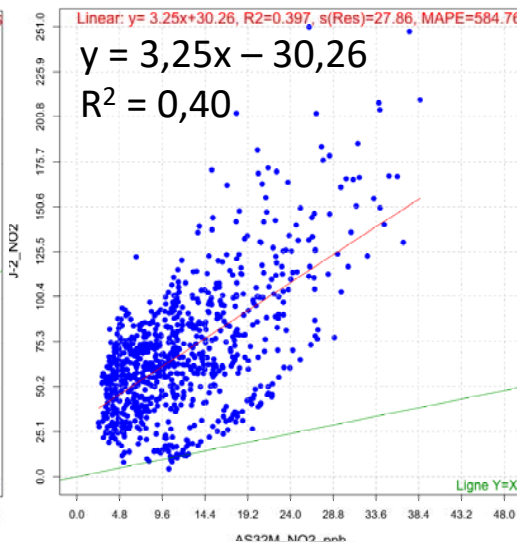
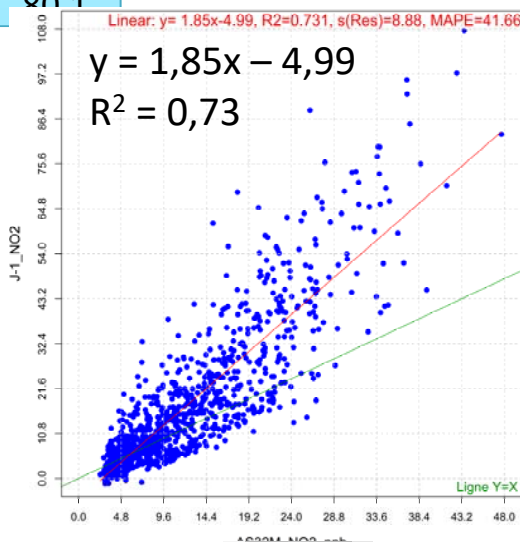


- Réponses non linéaires
- Décalage LD → perte de sensibilité lié au vieillissement

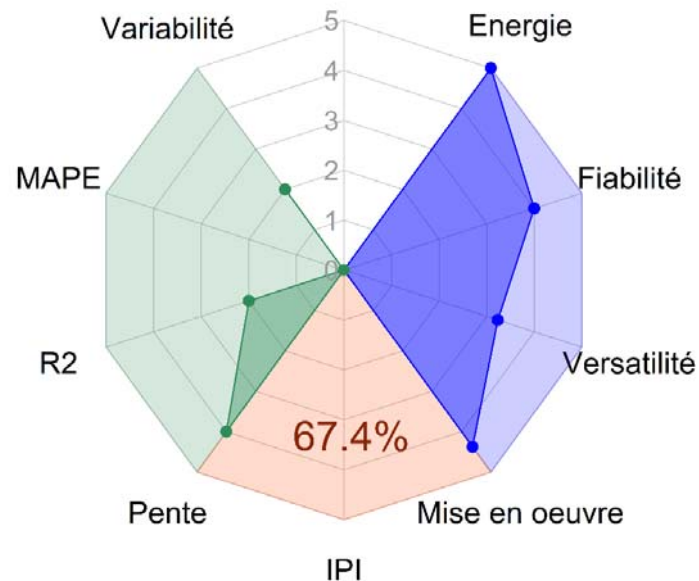
Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
AS32M_NO2_ppb	AB	3	74,9
	C	3	77,4
	D	3	77,2
	EA	1	80,8
	EB	1	89,2
	EC	2	77,2
	F	1	68,6
	HA	2	69,3
	<b>J</b>	3	<b>67,4</b>
	L	1	30,8
M-B	2	80,1	



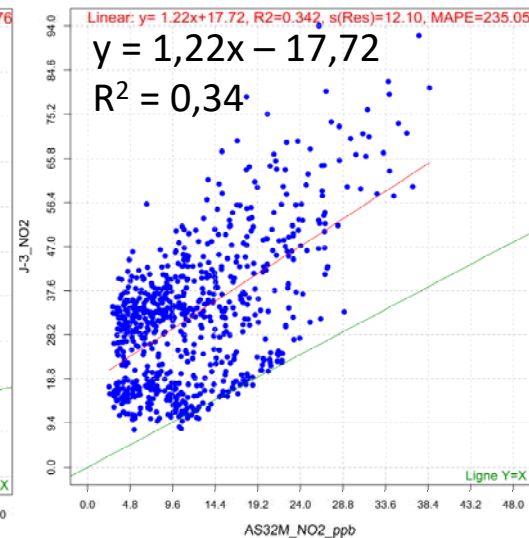
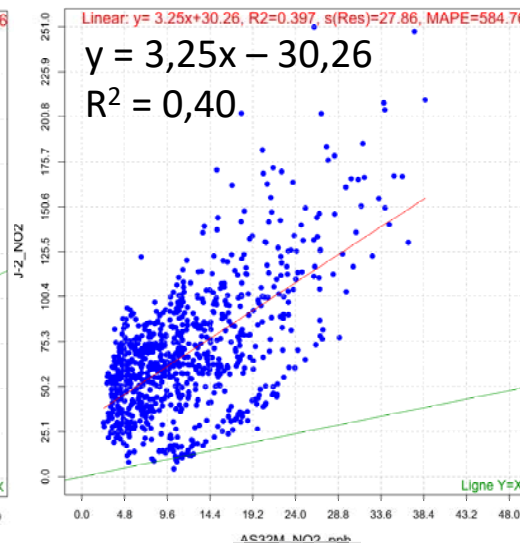
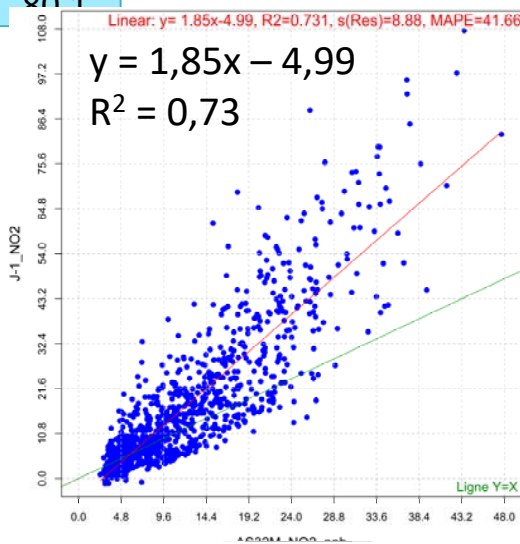
- Dispersion des pentes
- R<sup>2</sup> moyens



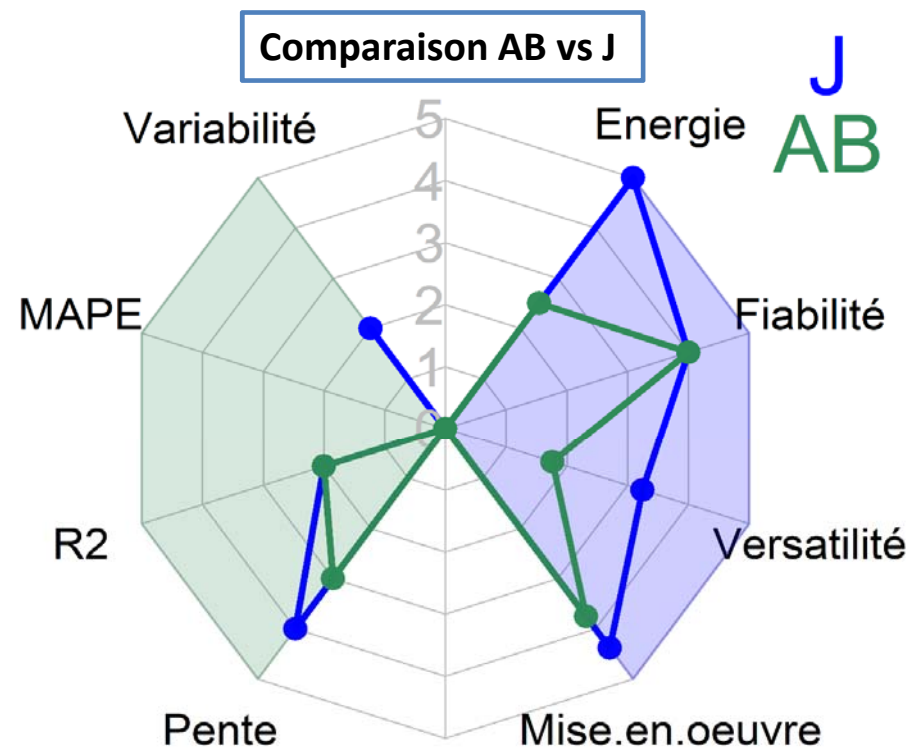
Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
AS32M_NO2_ppb	AB	3	74,9
	C	3	77,4
	D	3	77,2
	EA	1	80,8
	EB	1	89,2
	EC	2	77,2
	F	1	68,6
	HA	2	69,3
	J	3	67,4
	L	1	30,8
M-B	2	80,1	



- Dispersion des pentes
- R<sup>2</sup> moyens



Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
AS32M_NO2_ppb	AB	3	74,9
	C	3	77,4
	D	3	77,2
	EA	1	80,8
	EB	1	89,2
	EC	2	77,2
	F	1	68,6
	HA	2	69,3
	J	3	67,4
	L	1	30,8
	M-B	2	80,1



Différences de notations pour des valeurs d'IPI équivalentes.

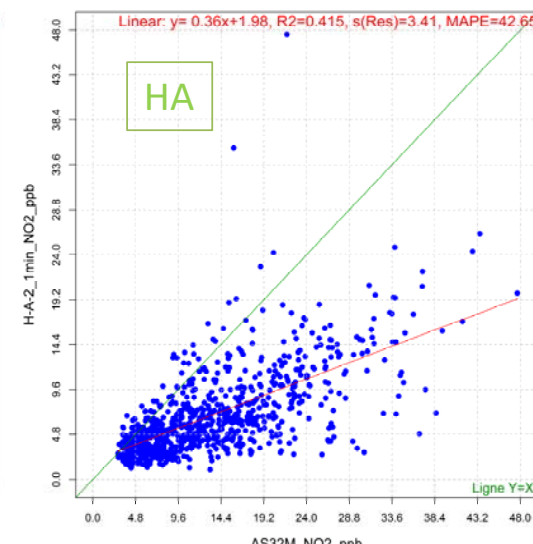
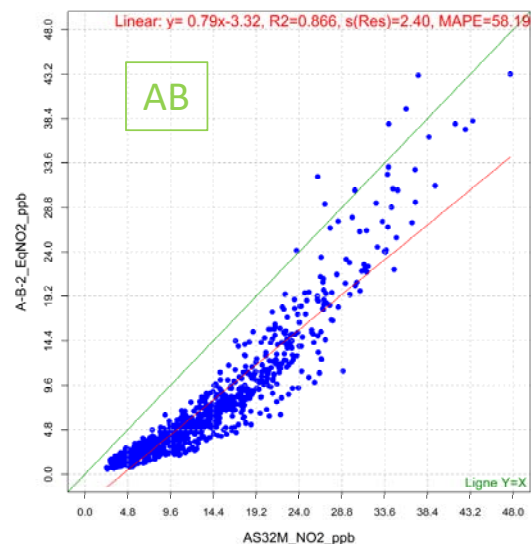


Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
AS32M_NO2_ppb	AB	3	74,9
	C	3	77,4
	D	3	77,2
	EA	1	80,8
	EB	1	89,2
	EC	2	77,2
	F	1	68,6
	HA	2	69,3
	J	3	67,4
	L	1	30,8
M-B	2	80,1	

## Comparaison AB-H-F-J

Deux types de cellules électrochimiques :

AB et HA vs F et J



$$y = 0,79x - 3,32$$

$$R^2 = 0,87$$

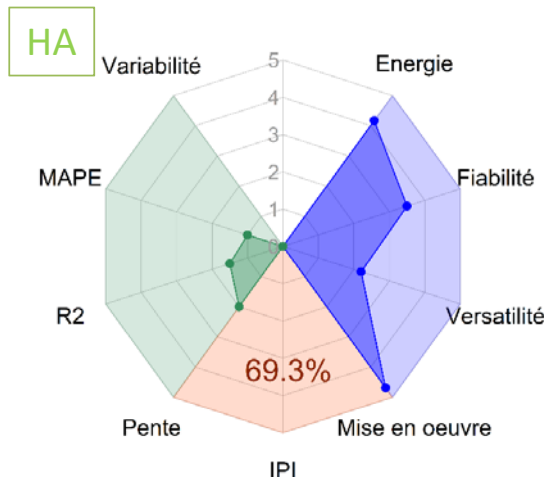
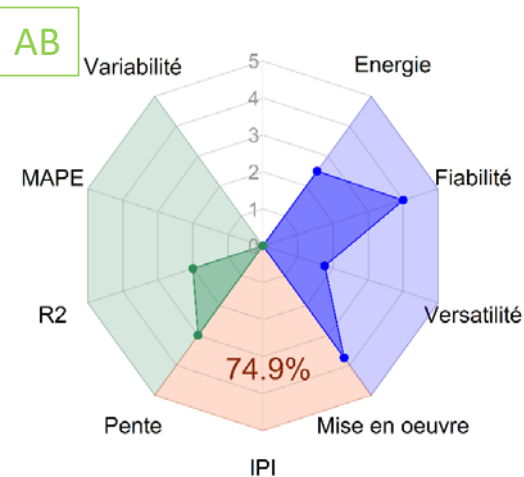
$$MAPE = 58,2$$

$$y = 0,36x + 1,98$$

$$R^2 = 0,42$$

$$MAPE = 42,7$$

→ Impact de l'électronique  
→ Sous-estimation



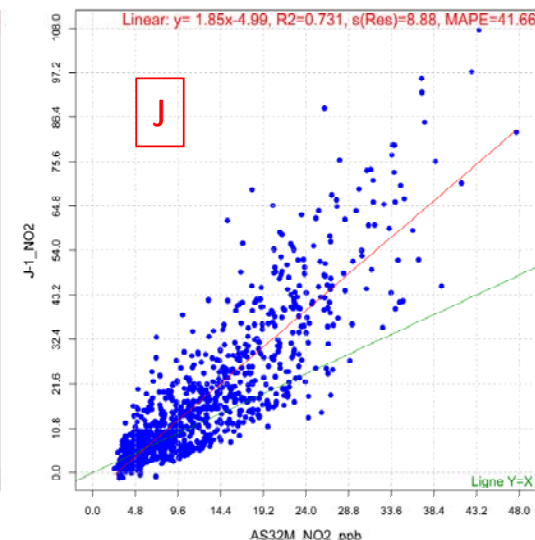
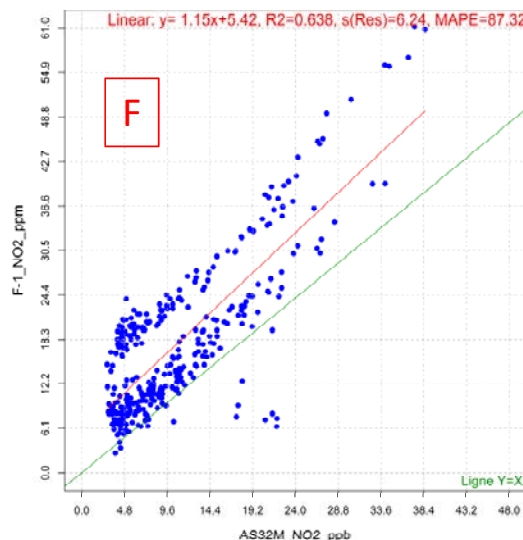
ine (R)évolution ?

Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
AS32M_NO2_ppb	AB	3	74,9
	C	3	77,4
	D	3	77,2
	EA	1	80,8
	EB	1	89,2
	EC	2	77,2
	F	1	68,6
	HA	2	69,3
	J	3	67,4
	L	1	30,8
M-B	2	80,1	

## Comparaison AB-H-F-J

Deux types de cellules électrochimiques :

AB et HA vs F et J



$$y = 1,15x + 5,42$$

$$R^2 = 0,64$$

$$MAPE = 87,3$$

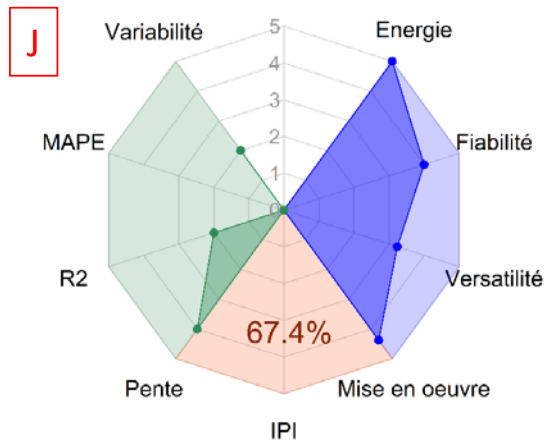
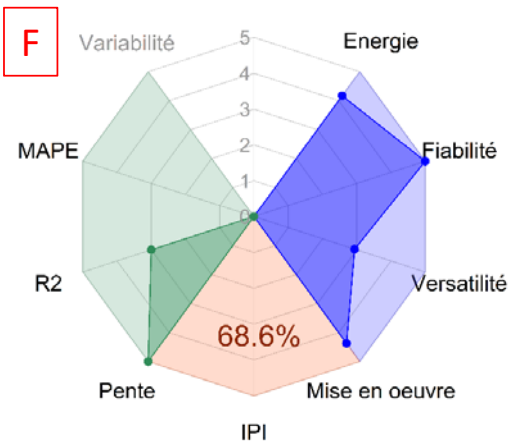
→ Hystérésis  
→ Surestimation

$$y = 1,85x - 4,99$$

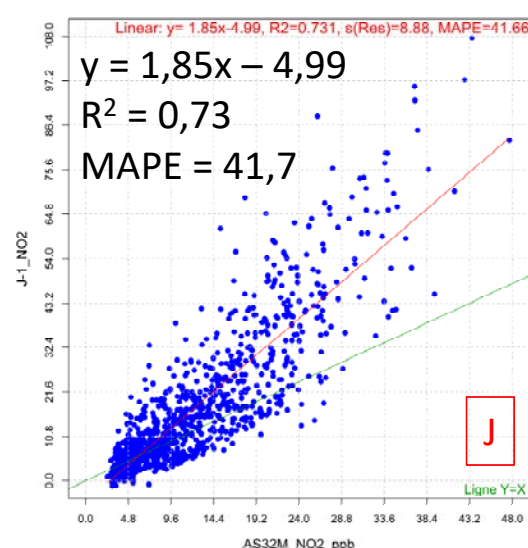
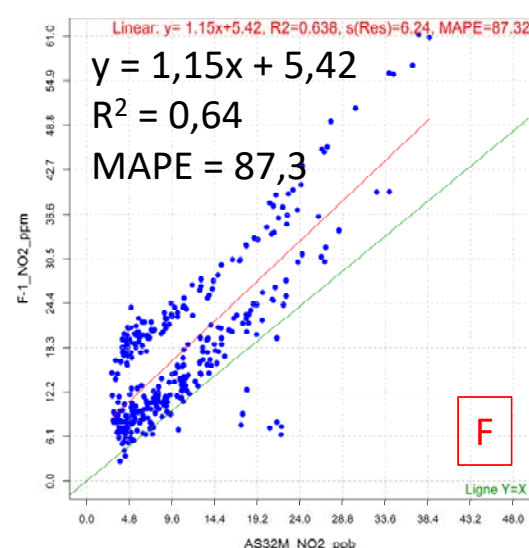
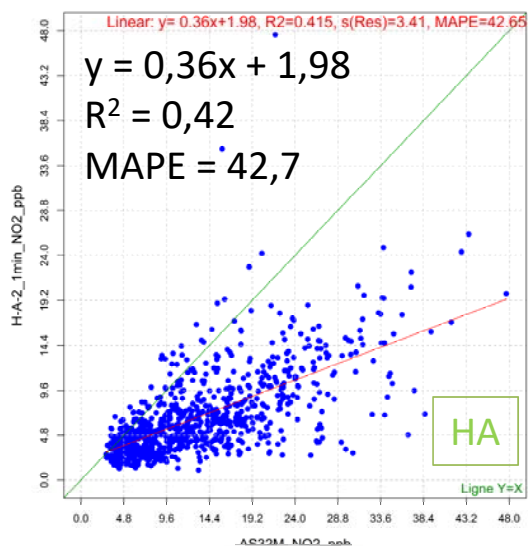
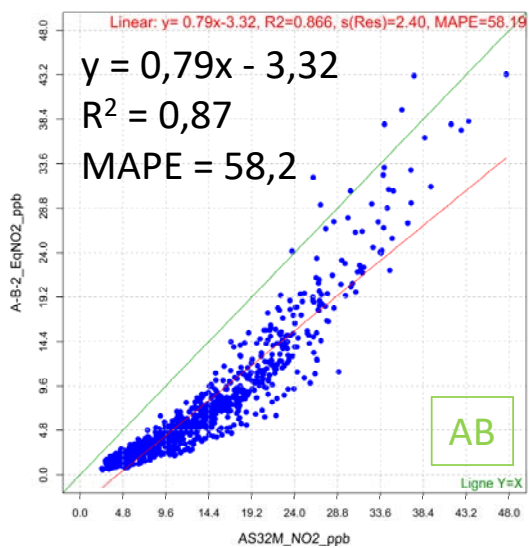
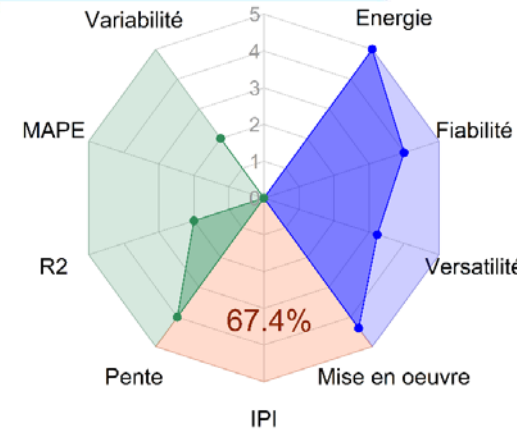
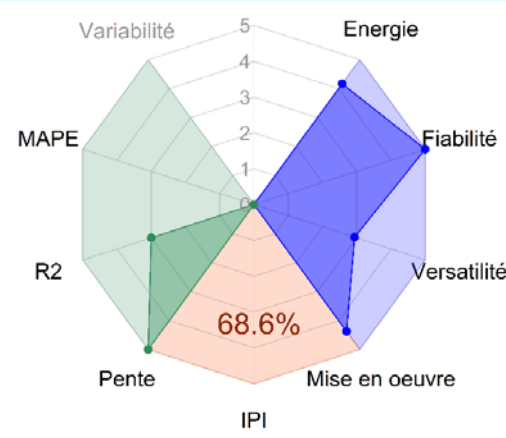
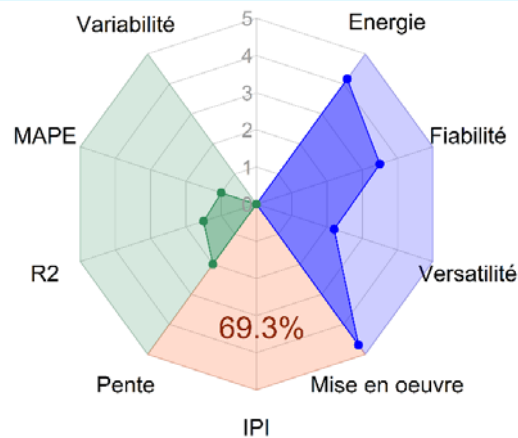
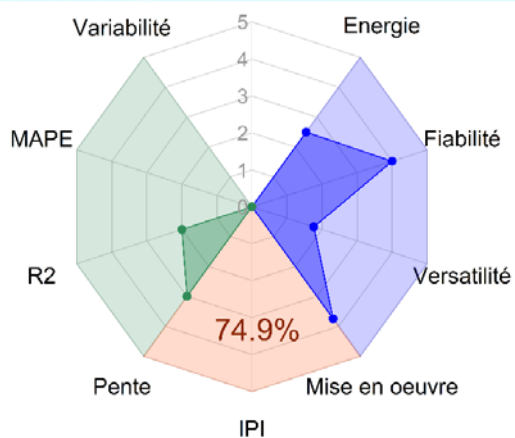
$$R^2 = 0,73$$

$$MAPE = 41,7$$

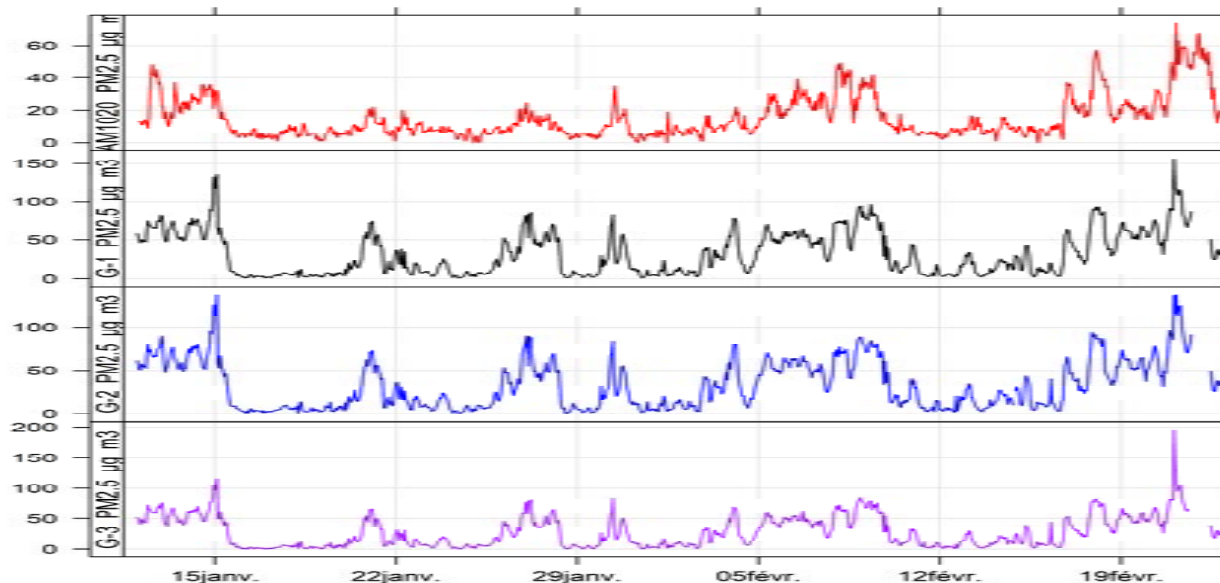
→ Dispersion  
→ Surestimation



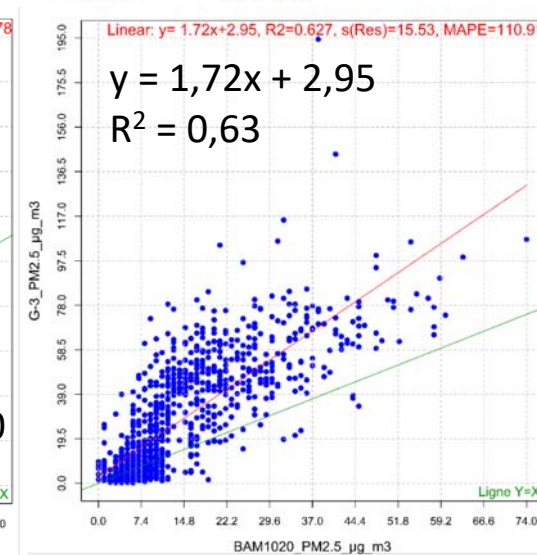
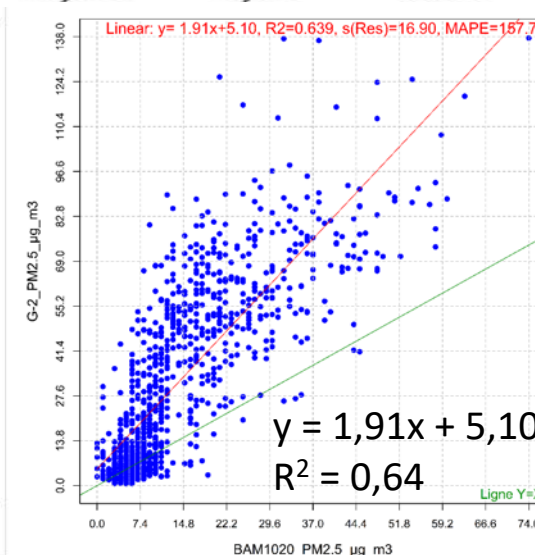
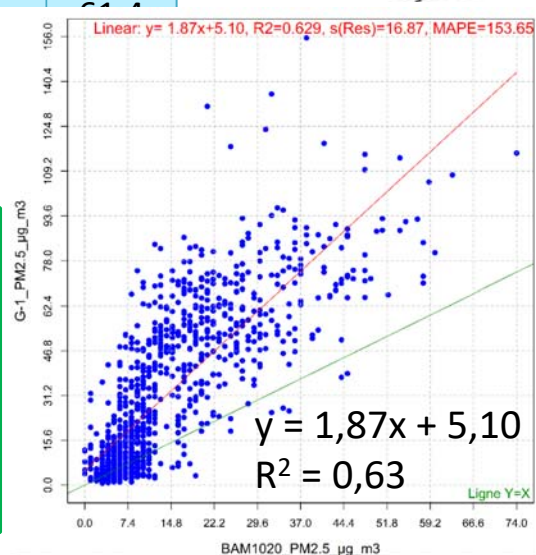
une (R)évolution ?



Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
BAM1020_PM2.5 (μg/m <sup>3</sup> )	AA	2	19,7
	AC	1	64,4
	B	2	63,3
	C	3	76,4
	D	3	44,7
	EA	1	66,8
	EB	1	75,5
	EC	2	47,2
	F	1	54,4
	G	3	82,8
	HB	1	61,1
I	3	66,7	
J	3	66,7	
KA	2	66,7	
KB	1	66,7	

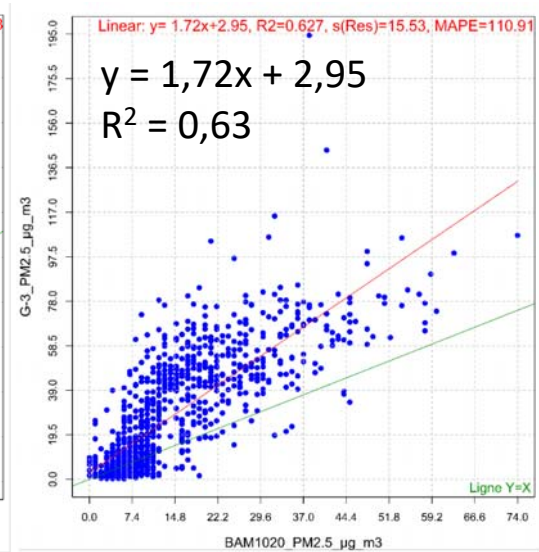
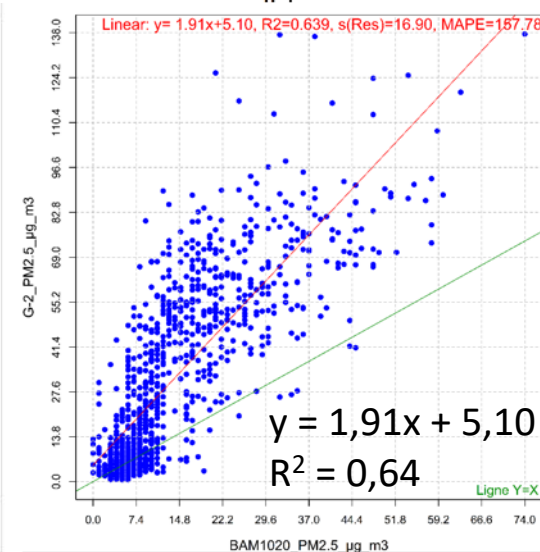
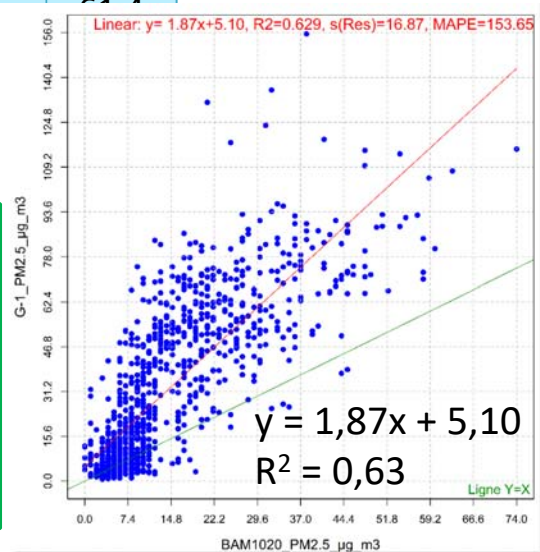
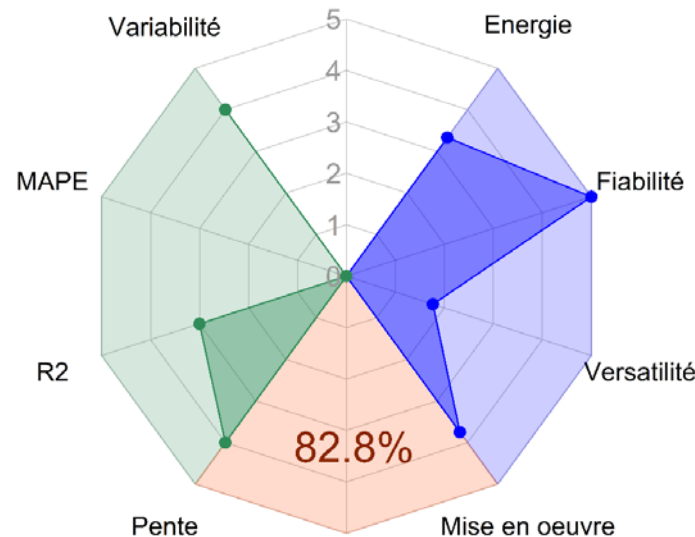


- Suivi dynamique OK mais avec qq pics non expliqués
- Sur-estimation des réponses
- Bonne reproductibilité des pentes
- Dispersion moyenne

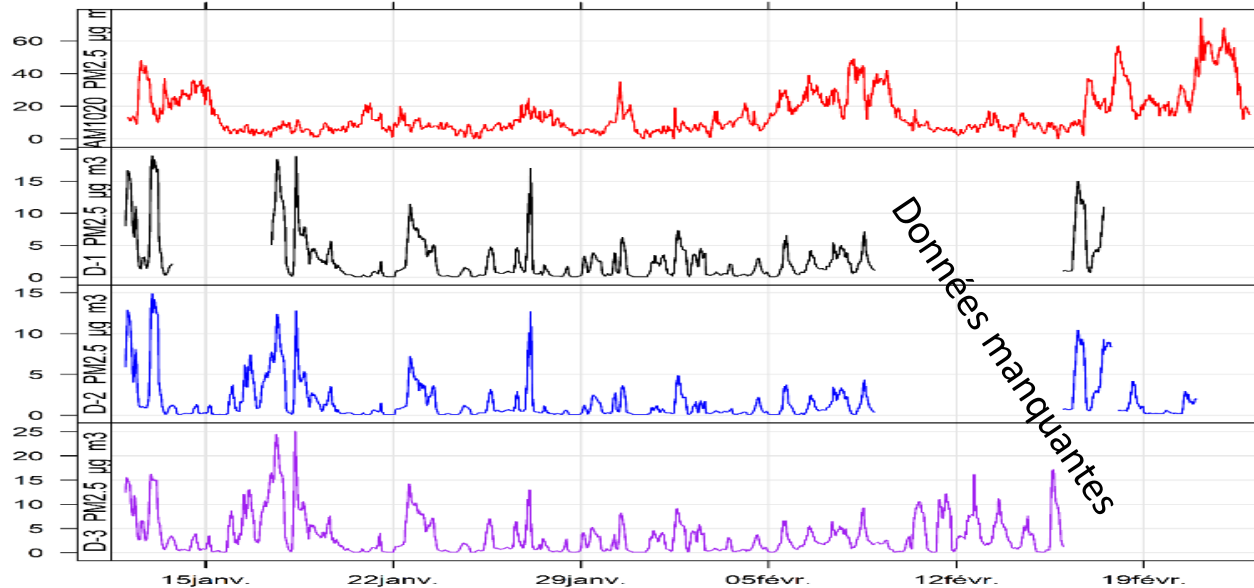


Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
BAM1020_PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> )	AA	2	19,7
	AC	1	64,4
	B	2	63,3
	C	3	76,4
	D	3	44,7
	EA	1	66,8
	EB	1	75,5
	EC	2	47,2
	F	1	54,4
	<b>G</b>	<b>3</b>	<b>82,8</b>
	HB	1	61,1
	I	3	66,7
	J	3	66,7
KA	2	66,7	
KB	1	66,7	

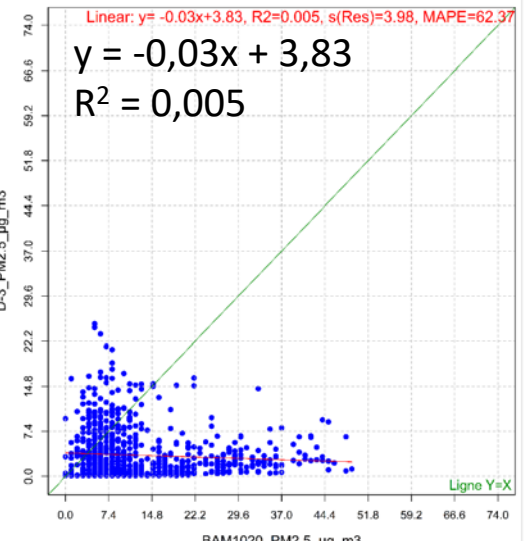
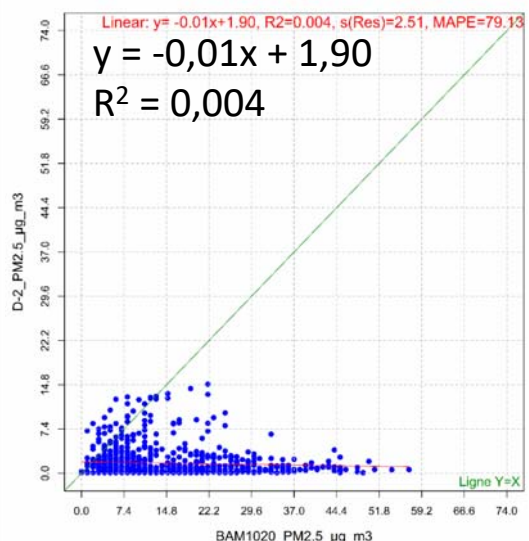
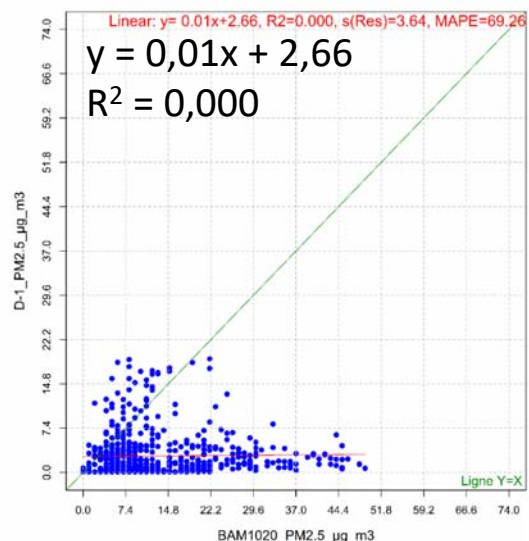
- Suivi dynamique OK mais avec qq pics non expliqués
- Sur-estimation des réponses
- Bonne reproductibilité des pentes
- Dispersion moyenne

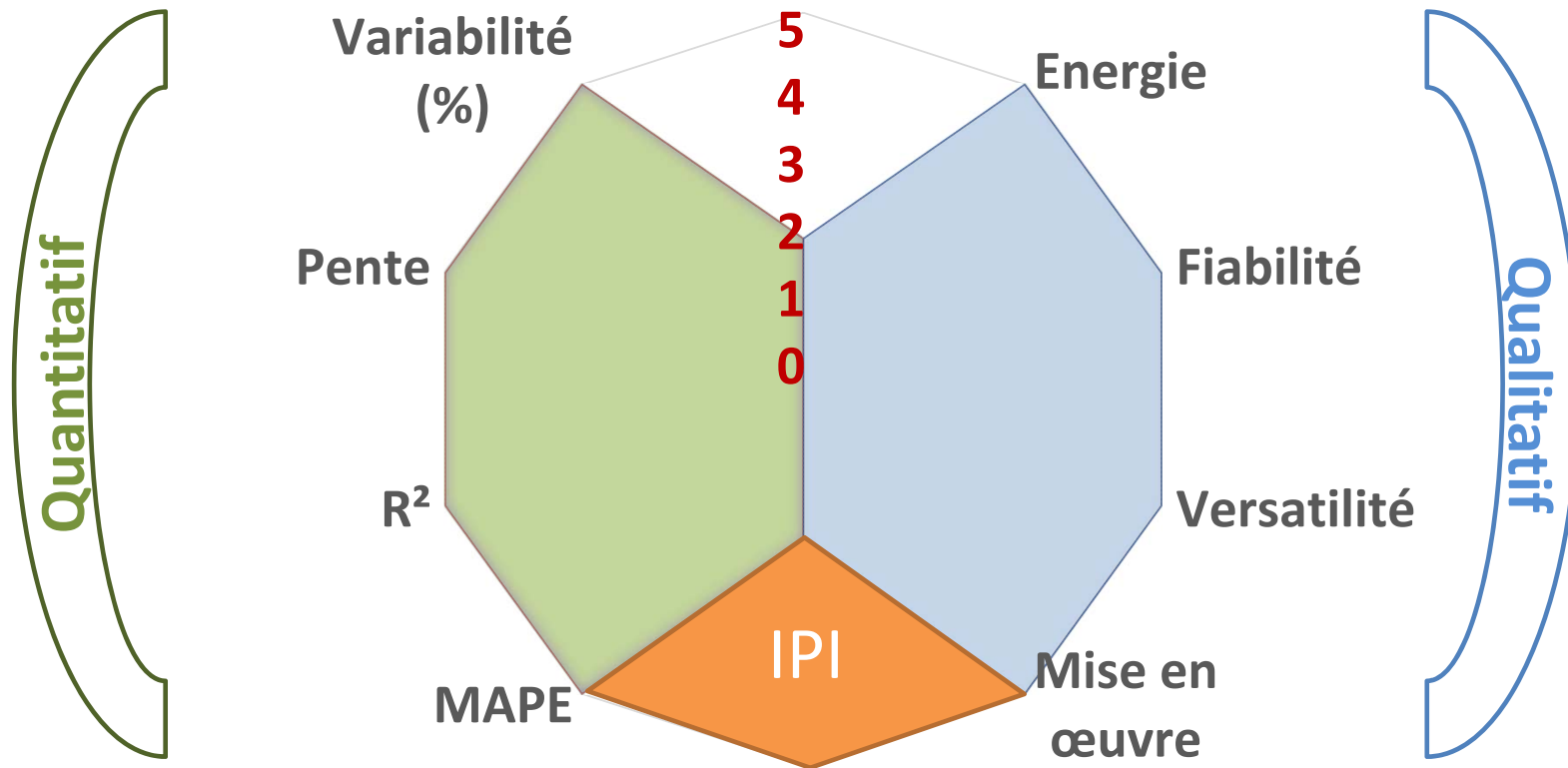


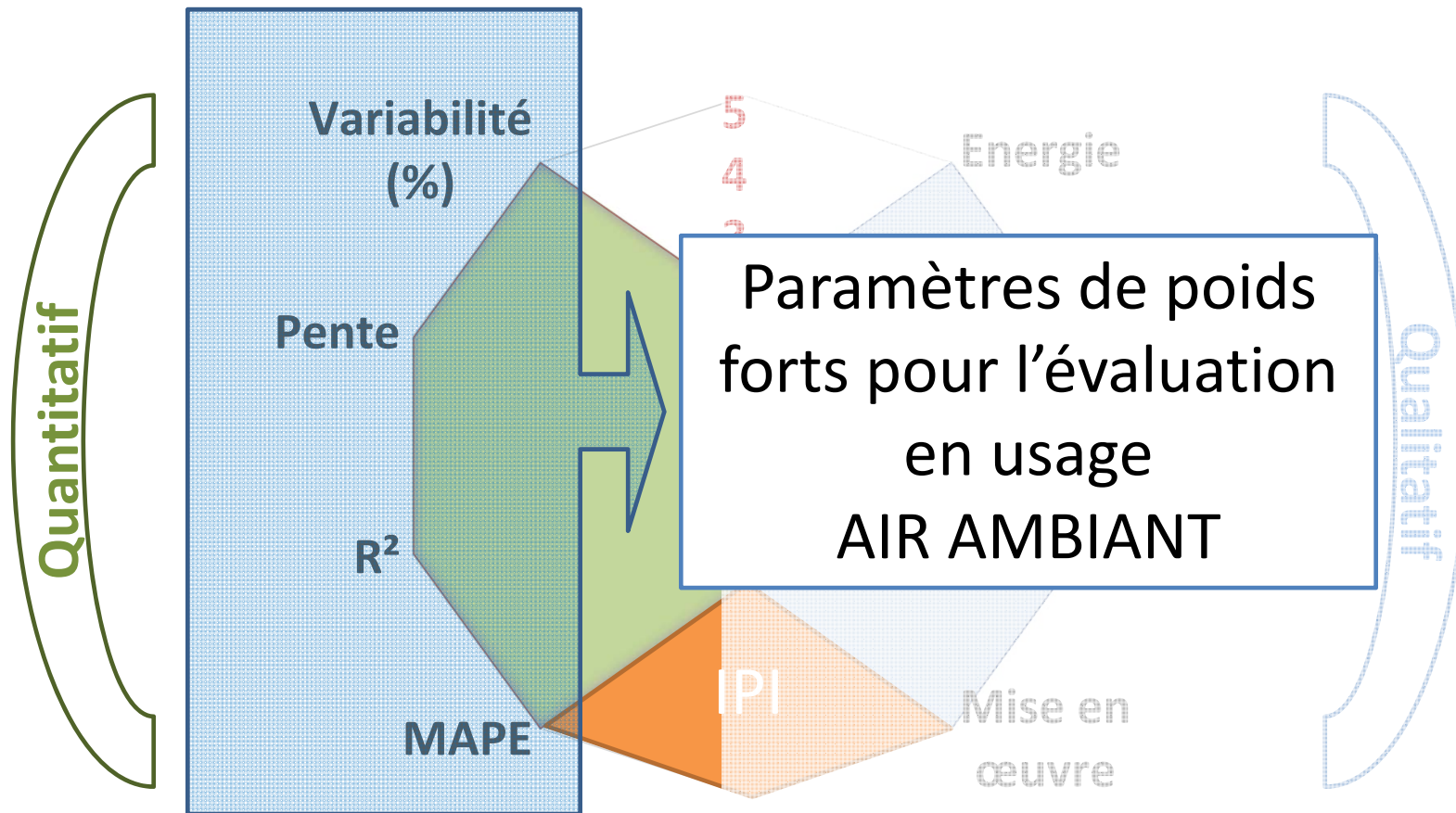
Instrument de référence	Réf capteur	Nb testés	IPI (%)
BAM1020_PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	AA	2	19,7
	AC	1	64,4
	B	2	63,3
	C	3	76,4
	D	3	44,7
	EA	1	66,8
	EB	1	75,5
	EC	2	47,2
	F	1	54,4
	G	3	82,8
	HB	1	61,4
	I	3	61,3
	J	3	61,3
	KA	2	61,3
KB	1	61,3	
MA	2	61,3	
O	3	61,3	



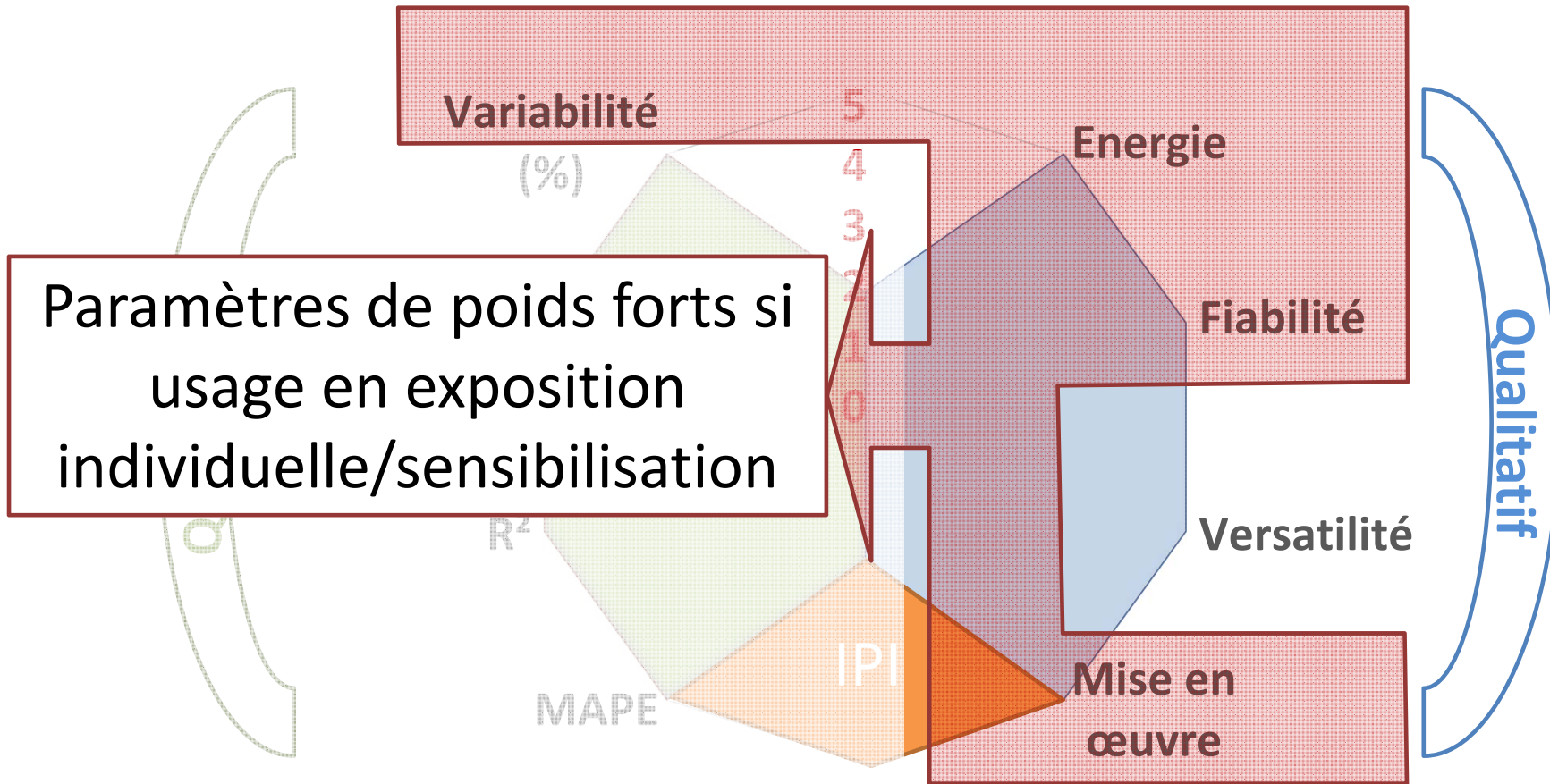
- Suivi dynamique avec **bcp** de pics non expliqués
- Problème lié au choix de la techno ?

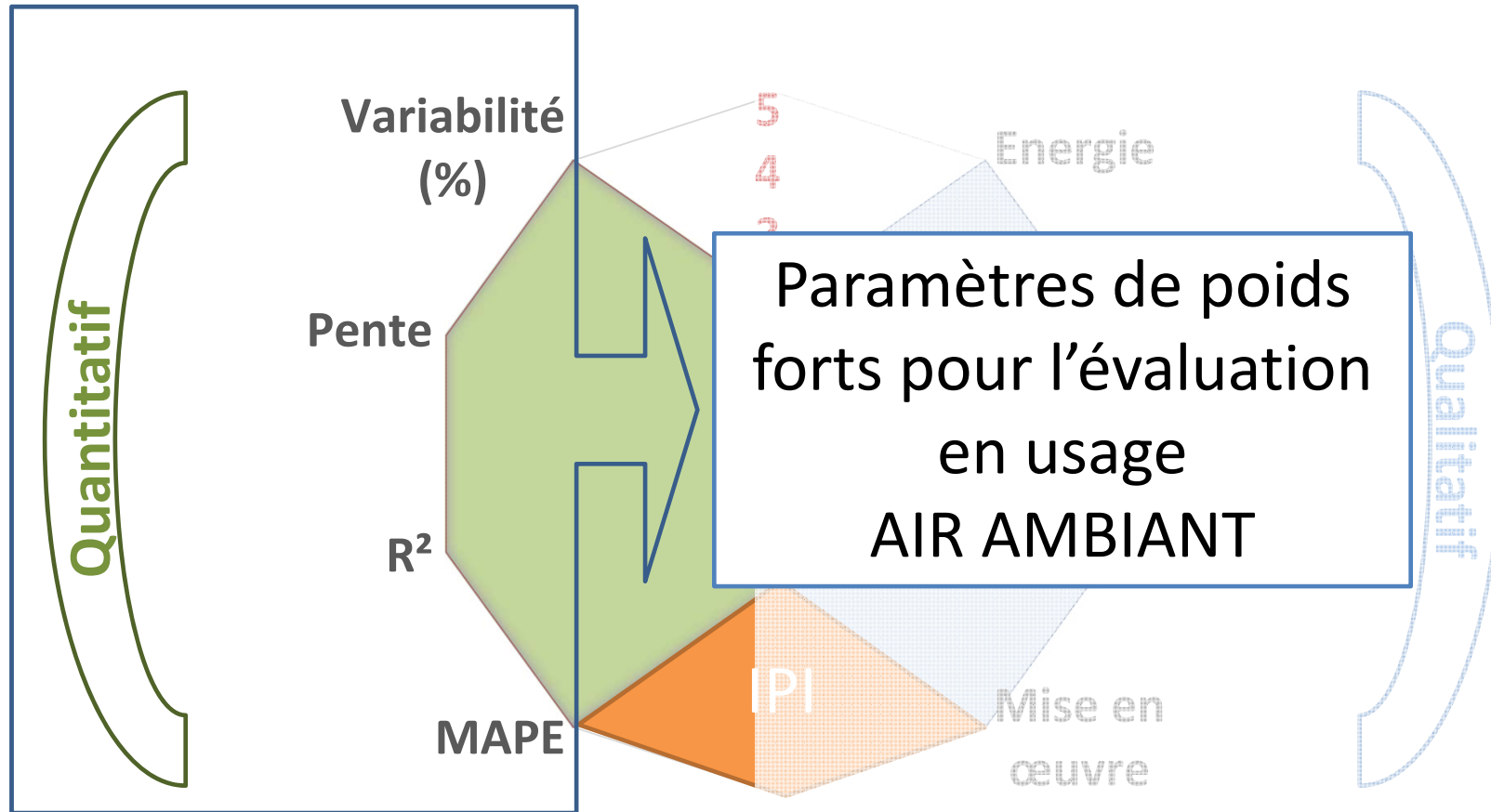












## 2<sup>ème</sup> Essai national d'Aptitude des micro-Capteurs

- 6 semaines de juillet à mi-août 2018
- site de typologie urbaine [station Dorignies – IMT Lille Douai] **en conditions estivales** (+O<sub>3</sub>, -PM)

20 participants, 45 dispositifs au total, 20 systèmes de conception et d'origines différentes

### Protocoles « Laboratoire »

→ Trop spécifiques

### EA<sub>μ</sub>C

→ Dépendants des conditions « terrain »



Dopage  
de  
matrices réelles



→ Réflexions entre les membres du LCSQA pour la mise en place d'une certification des systèmes pour la surveillance de la qualité de l'air

Merci de votre attention,

Des questions ?

Séminaire « Capteurs et Qualité de l'Air :  
une (R)évolution ? »  
2018