

Le projet SETIER : capteurs bon marché pour l'analyse des eaux usées

Des outils complémentaires à la gestion des stations

Rémi CLEMENT, Julien SUDRE, Hélène Guyard, Arnold-Fred IMIG, Sylvain MOREAU, Stéphanie PROST-BOUCLE



Atelier ILICO
8 et 9 septembre 2022
Brest



Contexte



Exemples de sondes pH low-cost : 10 à 30 €

■ Historique

UTILISATION DU LOW-COST EN QUALITÉ DE L'AIR, SISMOLOGIE...

→ TRÈS NOMBREUSES APPLICATIONS ET PUBLICATIONS

→ CONNAISSANCE PLUS FINE DES MILIEUX ÉTUDIÉS

PAS/PEU DE RETOUR D'EXPÉRIENCE EN ASSAINISSEMENT

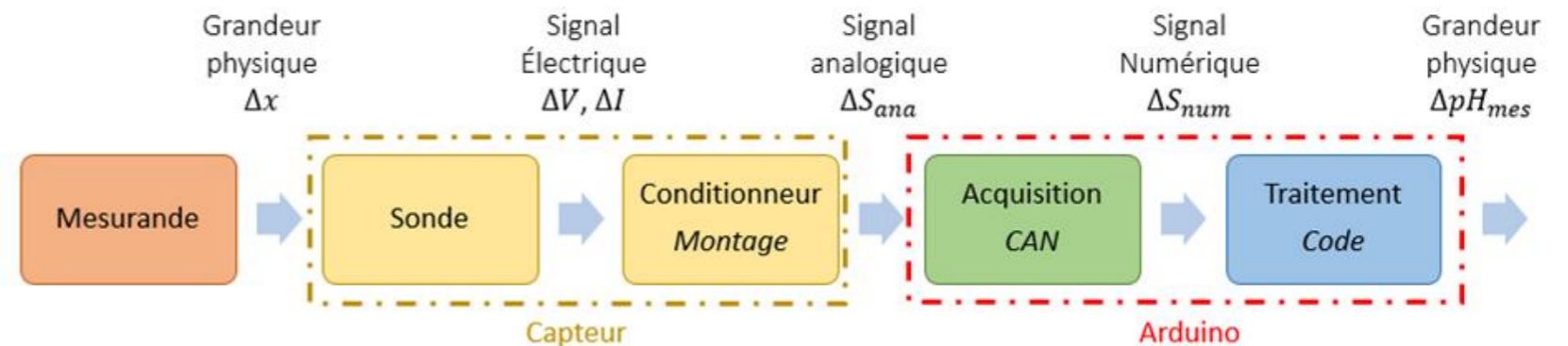
→ POSSIBILITÉ DE MULTIPLICATION DES SUJETS D'ÉTUDES ET POINTS DE SUIVIS, DIFFÉRENTES ÉCHELLES...

■ Définitions

CAPTEURS LOW-COST = 10% DU PRIX CLASSIQUE (FOURNISSEURS DE RÉFÉRENCE)

ACCOMPAGNÉS D'UNE CENTRALE OPEN-HARDWARE, PERMETTANT UNE PROGRAMMATION COMPLÈTEMENT LIBRE (FORMATAGE ET SAUVEGARDE DES DONNÉES)

**CHAÎNE DE MESURE À BAS COÛT =
CAPTEUR LOW-COST + ÉLECTRONIQUE OPEN-HARDWARE + ALIMENTATION**



Le projet SETIER

Suivi et Evaluation des capteurs low-cost pour les Installations de traitement des Eaux usées : qualité des eaux et énergie

(2020-2023)

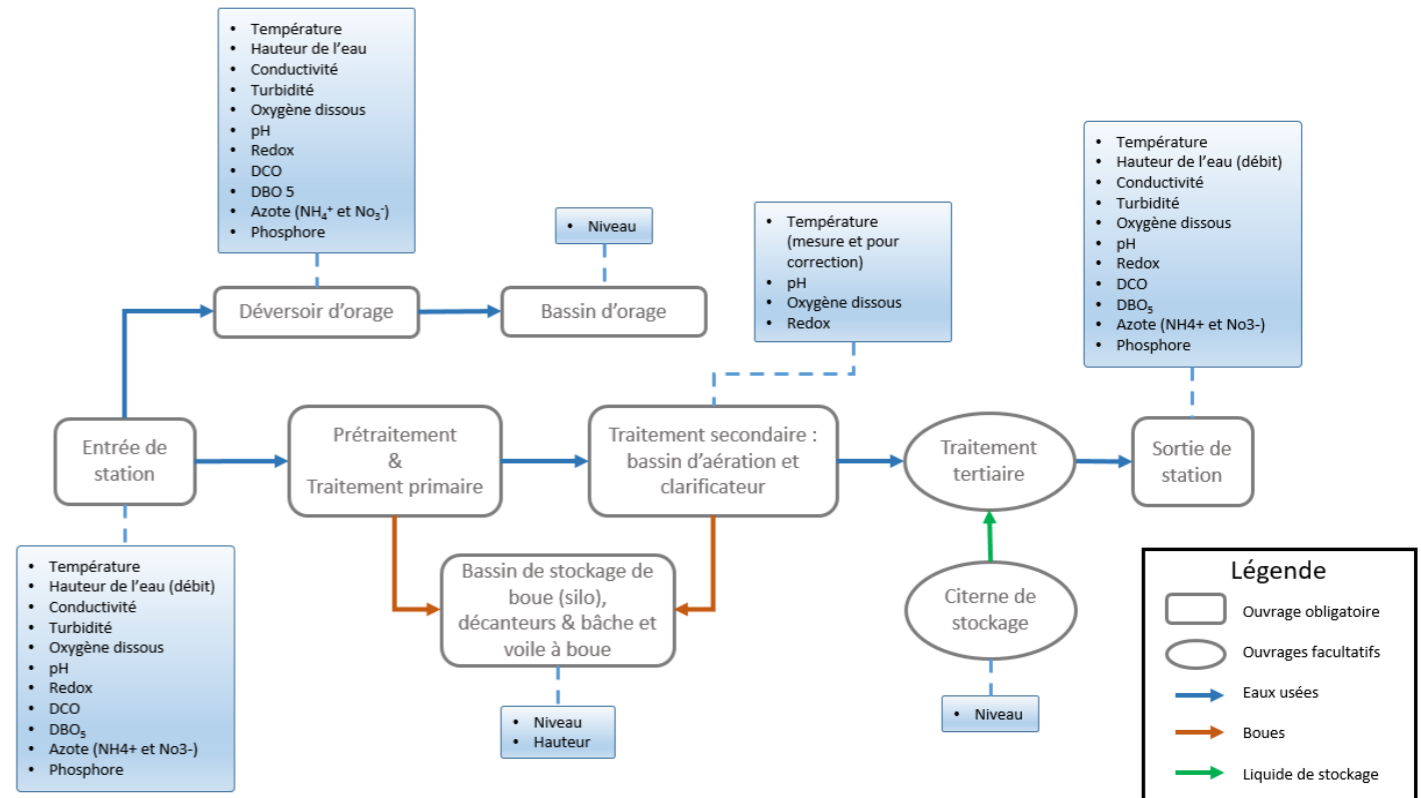
LES PARTENAIRES :



1. Identification des besoins

ETAT DES LIEUX DES EXIGENCES DE MESURE SELON LA TAILLE DES STATIONS

→ IDENTIFICATION DES PARAMÈTRES ET SENSIBILITÉS



1. Identification des besoins

→ ENQUÊTE NATIONALE



GROSSES VS PETITES COLLECTIVITÉS (57 participants)

Intérêt majeur

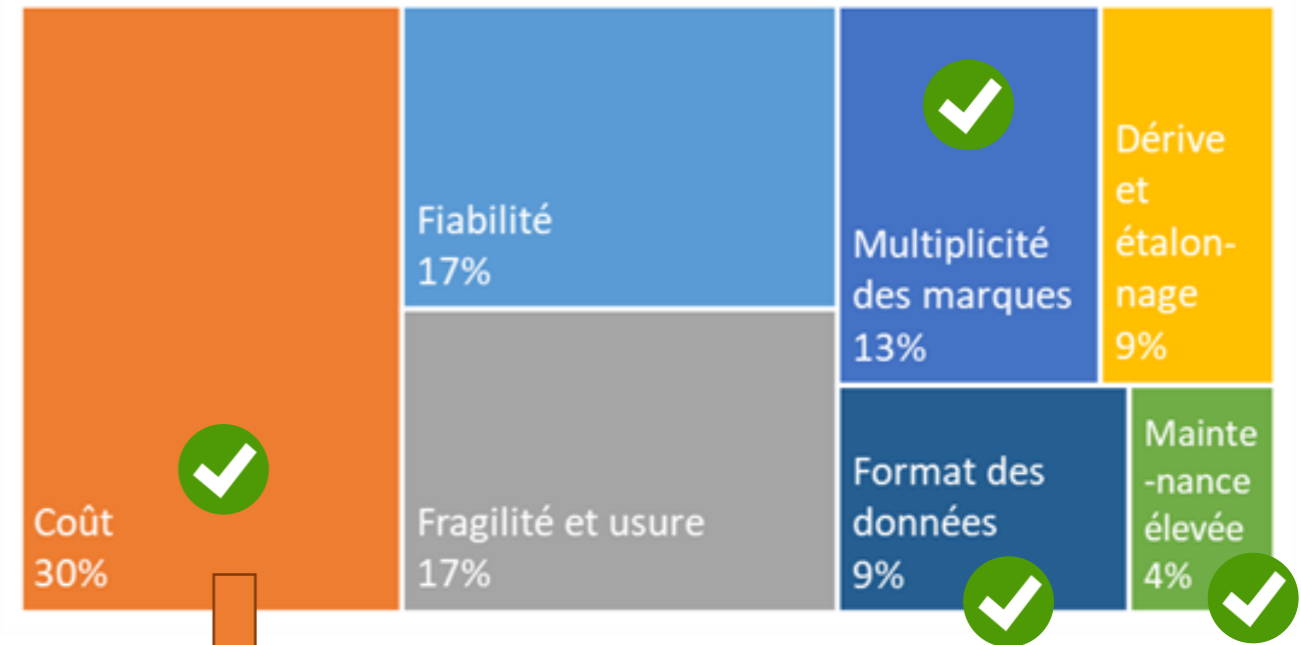
- pH
- Conductivité
- Redox
- O₂ dissous
- MES (turbidité)
- Débit
- Énergie

▪ Peu de low-cost pour les ions

▪ Pas de low-cost pour les gaz

▪ Energie : tps de fonctionnement, puissance instantanée

Les difficultés actuellement rencontrées :



Principal obstacle

2. Sélection des capteurs



SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE INTERNATIONALE

→ IDENTIFICATION DES CAPTEURS ET FABRICANTS PERTINENTS

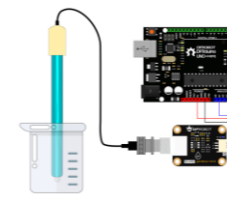
→ ETABLISSEMENT D'UN PROTOCOLE DE SÉLECTION DES CAPTEURS

| | pH | | | | pH | | | | pH | | | | pH | | | | pH | | | | pH | | | |
|---------------------------|-----|--|--|--|-----|--|--|--|-----|--|--|--|-----|--|--|--|-----|--|--|--|-----|--|--|--|
| Dimensionnement | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | |
| Spécifications Techniques | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | |
| Compatibilité | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | |
| Caractéristiques | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | |
| Autres | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | | ... | | | |

- Intérêt majeur
- pH (4)
 - Conductivité (3)
 - Redox (3)
 - O₂ dissous (1)
 - MES (turbidité) (1)
 - Débit (5)
 - Énergie (3)

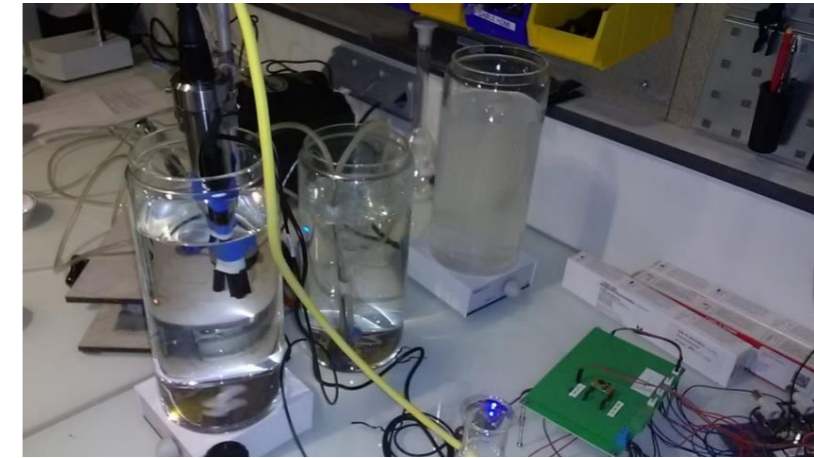
→ L'ENSEMBLE DES ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES SERA MIS À DISPOSITION À LA FIN DU PROJET (OPEN SOURCE).

3. Etude comparative des performances des capteurs



PROTOCOLE D'ÉVALUATION POUR QUALIFIER LES CAPTEURS

ACQUÉRIR UN RETOUR D'EXPÉRIENCE :
 TESTER L'EFFICACITÉ DES CAPTEURS,
 ET LEUR MISE EN ŒUVRE



→ TESTS EN LABORATOIRE EN EAU CLAIRE (//
 SONDE DE RÉFÉRENCE OU SOL. ÉTALON)

Exemple pour le paramètre pH :

$u_{\text{composée}} = \sqrt{(\sum u)^2}$

u_{attendue} = issue de la définition des besoins

Mesure du temps de réponse depuis pH 7.00 vers pH 4.01 et pH 10.00

| | | Eaux claires | | |
|-----------------|-------------------------------|--------------|-----------|-------------|
| | | SEN0161_1 | SEN0169_1 | ENV-50-PH_1 |
| Incertitude (φ) | $u_{\text{résolution}}$ | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
| | u_{justesse} | 0.02 | 0.06 | 0.02 |
| | $u_{\text{étalon/référence}}$ | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | $u_{\text{fidélité}}$ | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | $u_{\text{composée}}$ | 0.02 | 0.07 | 0.03 |
| | u_{attendue} | 0.10 | | |
| Temps à 99% (s) | MST | 0.1 | 0.1 | 9.1 |
| | Montée | 53.6 | 136.6 | 42.6 |
| | Descente | 153.0 | 158.0 | 94.1 |
| Validation | | OK | OK | OK |

3. Etude comparative des performances des capteurs

→ TEST SUR BANC D'ESSAI EN EAUX USÉES (// SONDE DE RÉFÉRENCE)

- ✓ pH
- ✓ redox
- ✓ conductivité

Tests réalisés

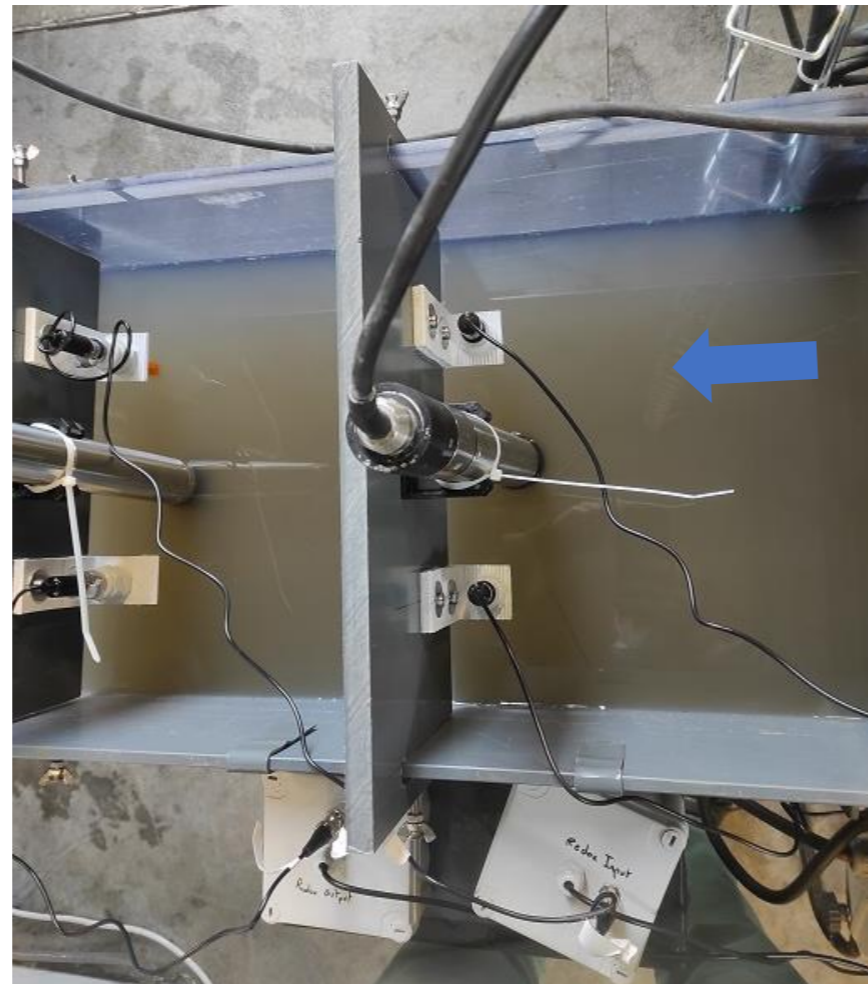
- ✓ O₂
- ✓ Turbidité (MES)

Tests à venir

2 capteurs de chaque type placés à différents endroits

Systematiquement accompagnés d'un capteur de référence

Différents débits (régimes hydrauliques)



3. Etude comparative des performances des capteurs

ACQUÉRIR UN RETOUR D'EXPÉRIENCE :
 TESTER L'EFFICACITÉ DES CAPTEURS,
 ET LEUR MISE EN ŒUVRE

→ TESTS EN LABORATOIRE EN EAU CLAIRE
 (// SONDE DE RÉFÉRENCE OU SOL. ÉTALON)






→ TEST SUR BANC D'ESSAI EN EAUX USÉES
 (// SONDE DE RÉFÉRENCE)

→ CAPTEURS DE HAUTEUR D'EAU

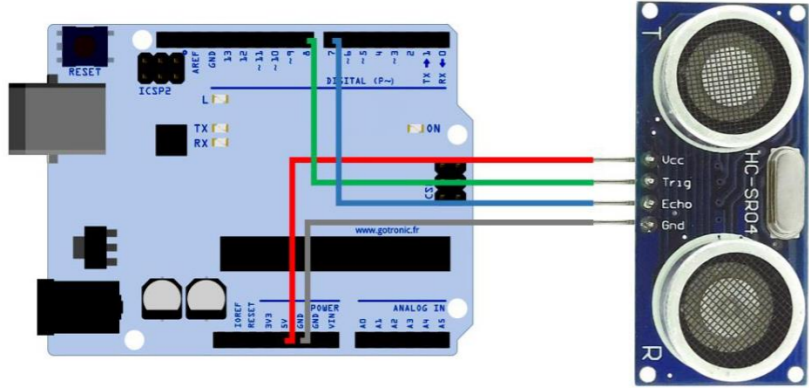
= *Débitmètres*

Tests réalisés

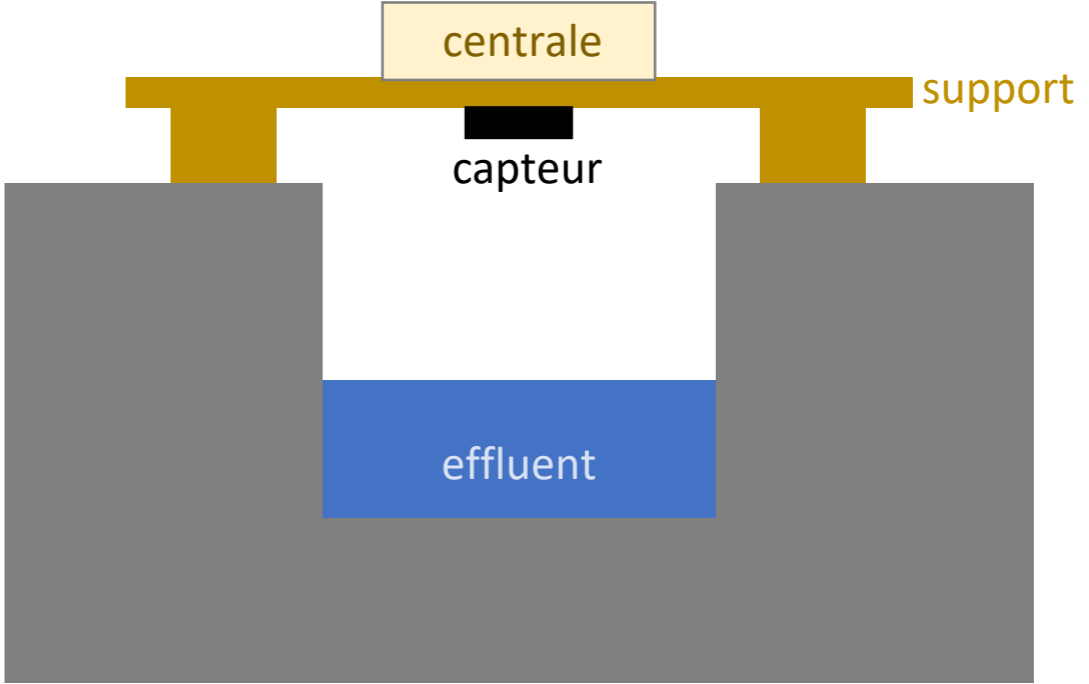
Et toujours une
 alimentation 12V
 pour la centrale

| | Référence | Low-cost | | | |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| | Bubbleflow 2 | HCSR04 | SEN0311 | SEN0246 | SEN0358 |
| Image dispositif |  |  |  |  |  |
| Alim. DC (direct courant) | Batterie 12V | 3,3 ou 5V | 3,3 ou 5V | 6 à 12V | 7 à 15V |
| Portée | 0 - 1 m | 0,02 - 4 m | 0,03 - 4,5 m | 0,35 - 5,5 m | 0,1 - 1,5 m |
| Résolution | 1 mm | 3 mm | NC | 10 mm | 0,1 mm |
| Étanchéité | Oui | Non | Oui | Oui | Oui |
| Coût | - | 4 € | 17 € | 97 € | 108 € |
| Fonctionnement | bulle-à-bulle | duo émetteur-récepteur | duo émetteur-récepteur | émetteur-récepteur unique | émetteur-récepteur unique |

→ CAPTEURS DE HAUTEUR D'EAU



Exemple :
Placement du débitmètre avec le capteur ultrason
SEN0358 dans un canal venturi



→ CAPTEURS DE HAUTEUR D'EAU



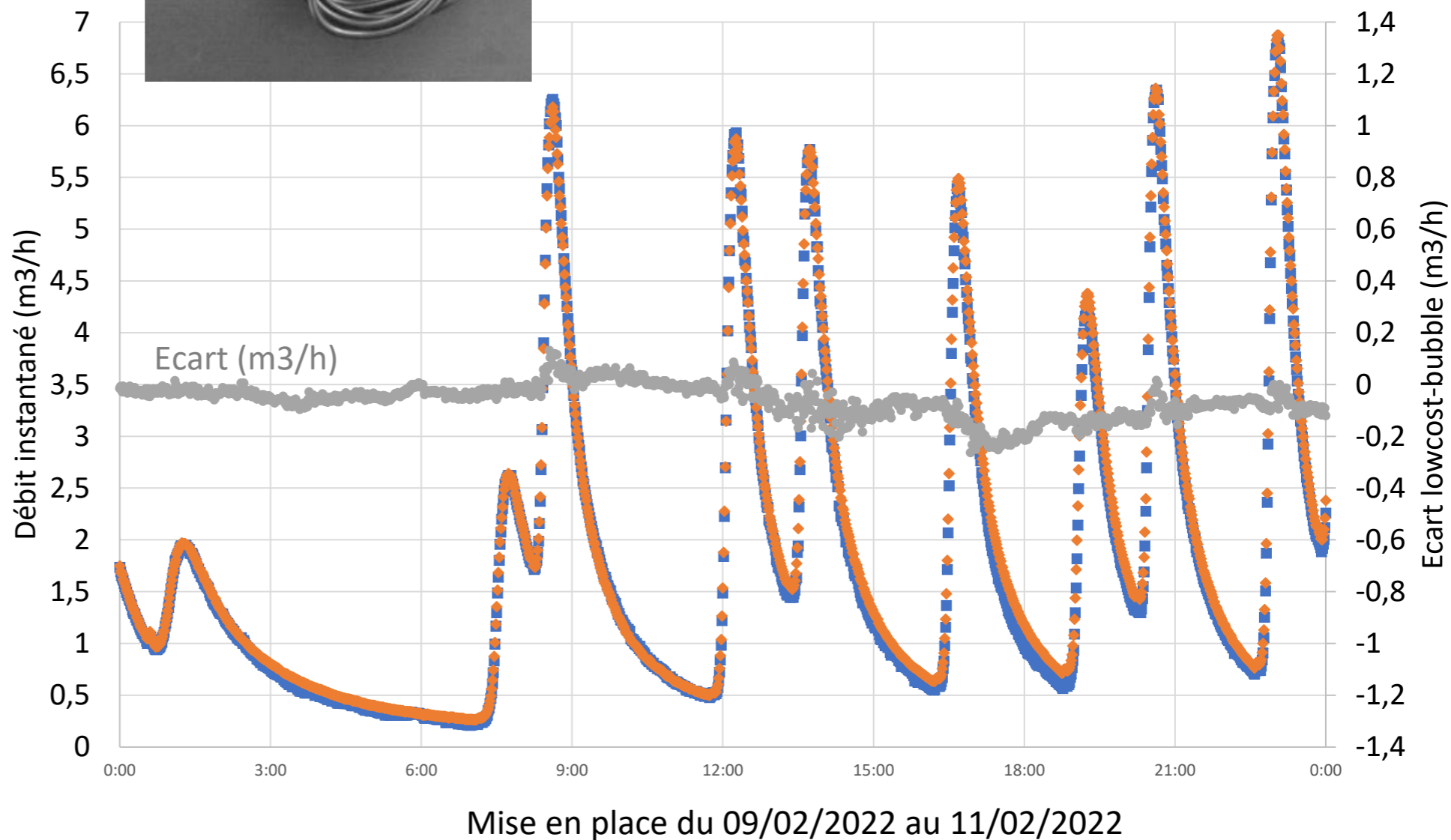
Exemple :

Données du débitmètre avec le capteur ultrason SEN0358 dans un canal venturi

En comparaison avec un débitmètre de référence bulle-à-bulle installé à proximité.

Une mesure par minute.

Moyenne des écarts : $0,04 \text{ m}^3/\text{h}$.



4. Développement d'un datalogger bas coût type « Lego »

PROPOSER UNE CONCEPTION « CAPTEUR/CENTRALE D'ACQUISITION » LA PLUS SIMPLE POSSIBLE

- COMPARER LES CARTES ÉLECTRONIQUES DU MARCHÉ
- ÉVALUER LEUR ADÉQUATION AVEC LES CAPTEURS
- COMPARER LEUR CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE
- INCLURE LES POSSIBILITÉS D'ACQUISITION À LONG TERME ET TÉLÉTRANSMISSION DES DONNÉES

CHAÎNE DE
MESURE À BAS
COÛT

=



+



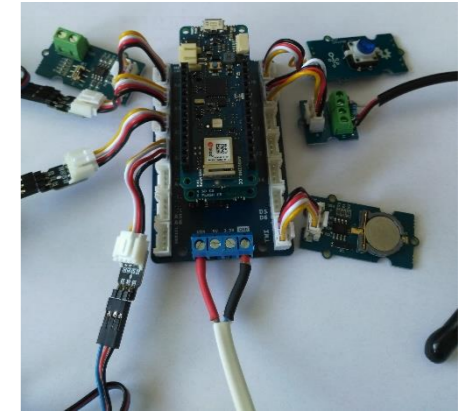
+



Capteur(s)
low-cost



Datalogger
DIY
Arduino

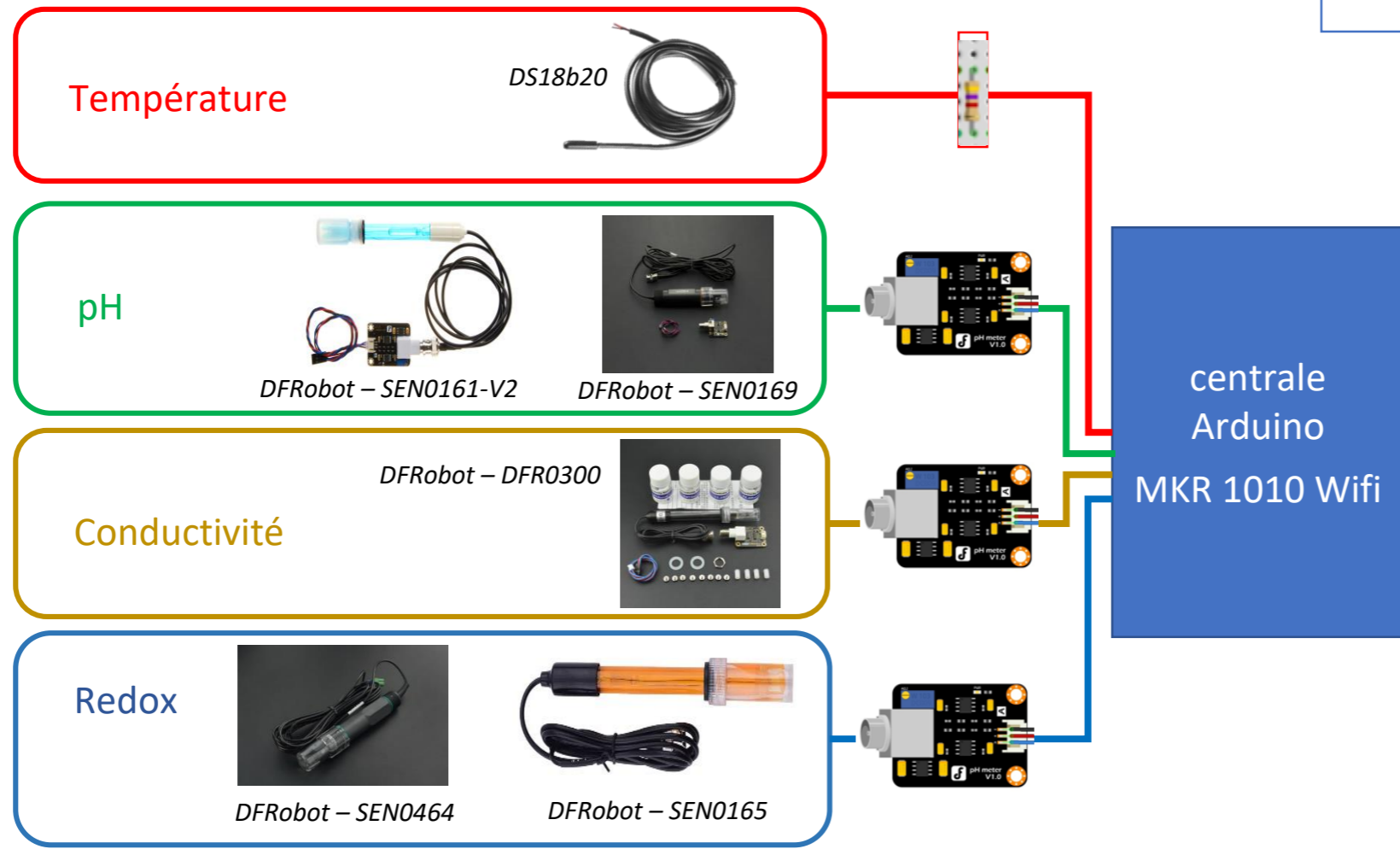


Alimentation

*Secteur, panneaux solaires,
batteries...*

4. Développement d'un datalogger bas coût type « Lego »

- Critère 1 : type « LEGO »
- Critère 2 : Coût (<10%)
- Critère 3 : Robustesse
- Critère 4 : Documentation








Capteur à tester : O₂ dissous



4. Développement d'un datalogger bas coût type « Lego »

→ PROPRIÉTÉS

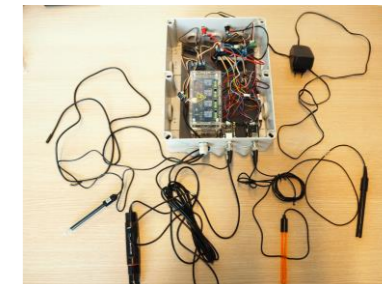
- Nb capteurs : jusqu'à 5
- Fournisseurs français 
- Alimentation :  ou  (choix inclus)
- Autonomie : 1 à 2 mois
- Téléchargement et affichage des données :  smartphone/tablette/PC
- Télétransmission : via projet CHEAP'EAU
- Montage : 1 à 2 jours
- Informations : Gitlab + site internet
-  200 à 600 € /centrale

3 TYPES DE CENTRALE DIY



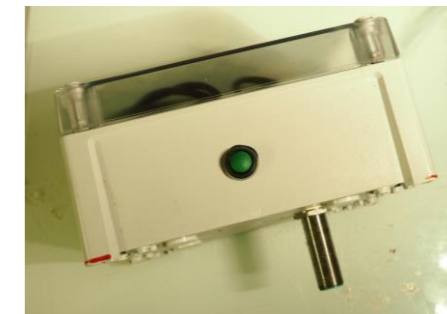
→ CENTRALE « PHYSICO-CHEMIQUE » :

pH conductivité redox T°C O₂ turbidité



→ CENTRALE « DÉBIT - HAUTEUR D'EAU » :

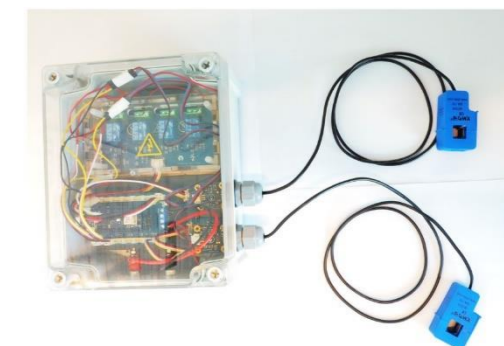
ultrason



→ CENTRALE « ÉNERGIE » :

pince ampérométrique

détecteur de vibration



5. Valorisation

→ ATELIERS ASSEMBLAGE DATALOGGER ET CAPTEURS POUR ÉVALUATION RÉELLE SUR SITE

→ [HTTPS://GITLAB.IRSTEA.FR/REVERSAAL/SETIER_DATALOGGER](https://gitlab.irstea.fr/reversaal/setier_datalogger)

→ PROPOSER UN **GUIDE MÉTHODOLOGIQUE POUR LA MISE EN ŒUVRE DE CES CAPTEURS AVEC DES RECOMMANDATIONS ET DES POINTS DE VIGILANCE**, ENTièrement SOUS GITLAB.IRSTEA.FR

AINSI QUE DES NOTIONS DE « COÛT-EFFICACITÉ »,

À DESTINATION DES OPÉRATEURS PUBLICS ET PRIVÉS, ET POUR DIFFÉRENTS OBJECTIFS POURSUIVIS

→ **DEMI-JOURNÉE DE RESTITUTION 10 JANVIER 2022**

Vous pouvez aussi participer !
Atelier participatif prévu le 15/09/2022 à Lyon

▪ CATALOGUE DES CAPTEURS



▪ GUIDES

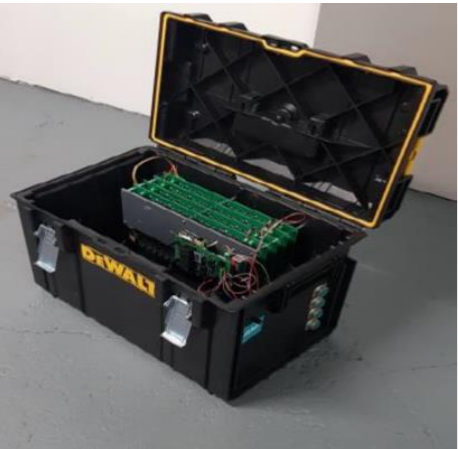


ET CODES EN OPEN SOURCE



6. Conclusions

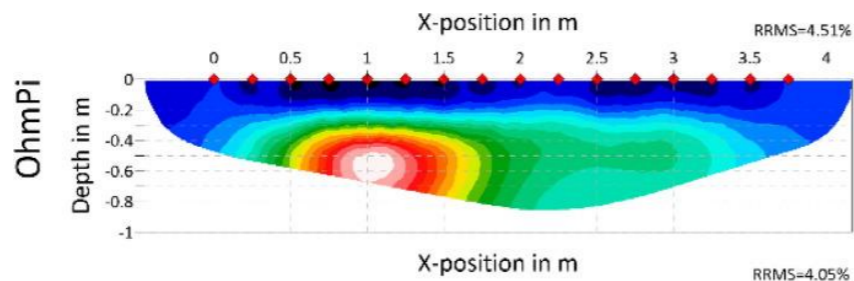
- Le montage d'un tel projet n'est pas évident, pas simple à financer (financement, CDD, 60%).
- Pour l'unité de recherche, c'est une plus-value énorme d'utiliser ces capteurs (maîtrise de la chaîne d'acquisition, réparations rapides ...).
- Tout rendre accessible: dépôt Gitlab, avec site statique et documentation automatique en PDF ([HTTPS://GITLAB.IRSTEA.FR/REVERSAAL/SETIER_DATA_LOGGER](https://gitlab.irstea.fr/reversaal/setier_data_logger)), et publications dans Journal of HARDWARE X.
- Démarche open-hardware: Constat ne pas négliger le temps pour le transfert, en particulier la documentation
- Utilisation des capteurs et stratégies reprises dans d'autres projets en particulier Ohmpi



PROJET OHMPI:

<https://gitlab.irstea.fr/reversaal/OhmPi>

Géophysique/résistivimètre Open-hardware



PROJET MATCARB:

<https://reversaal.inrae.fr/recherche/projets/programme-matcarb>

Colonne de sol instrumentée avec des capteurs « low-cost »




Merci de votre attention

Le projet SETIER :

<https://reversaal.inrae.fr/recherche/projets/setier/>

https://gitlab.irstea.fr/reversaal/setier_datalogger

Article paru dans la revue  tsm :

<https://astee-tsm.fr/numeros/tsm-1-2-2022/prost-boucle/>



Le setier est une ancienne mesure de capacité

« Le setier fut une unité romaine de volume pour les liquides. Valant environ 54 cl, il équivalait à la chopine. Le demi-setier est à l'origine du « demi » en France, un verre de bière d'environ 25 cl »

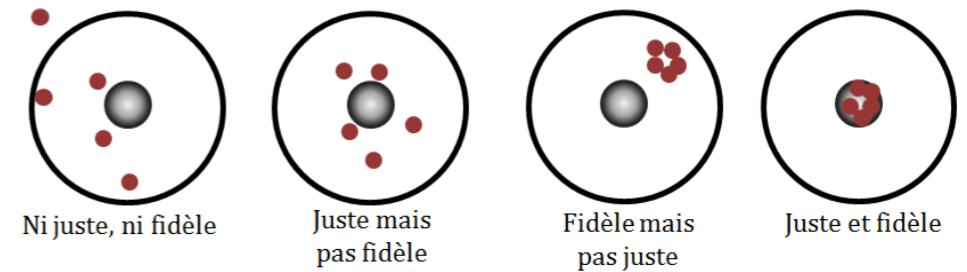
Source : Wikipedia

Annexes

3. Etude comparative des performances des capteurs

ACQUÉRIR UN RETOUR D'EXPÉRIENCE : TESTER L'EFFICACITÉ DES CAPTEURS, ET LEUR MISE EN ŒUVRE

Exactitude = justesse et fidélité de la mesure :



→ TESTS EN LABORATOIRE EN **EAU CLAIRE** (// SONDE DE RÉFÉRENCE OU SOL. ÉTALON)

→ TEST SUR BANC D'ESSAI EN **EAUX USÉES** (// SONDE DE RÉFÉRENCE)

- ✓ résolution
- ✓ justesse
- ✓ fidélité
- ✓ temps de réponse

Evaluations métrologiques :

| | Evaluation labo (Arduino) | Evaluation labo (Raspberry) | Evaluation banc d'essai (eau claire) | Evaluation banc d'essai (eau usées) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Température | | X | X | X |
| Conductivité | X | X | X | X |
| pH | X | X | X | X |
| Redox | X | X | X | X |

Besoins des utilisateurs

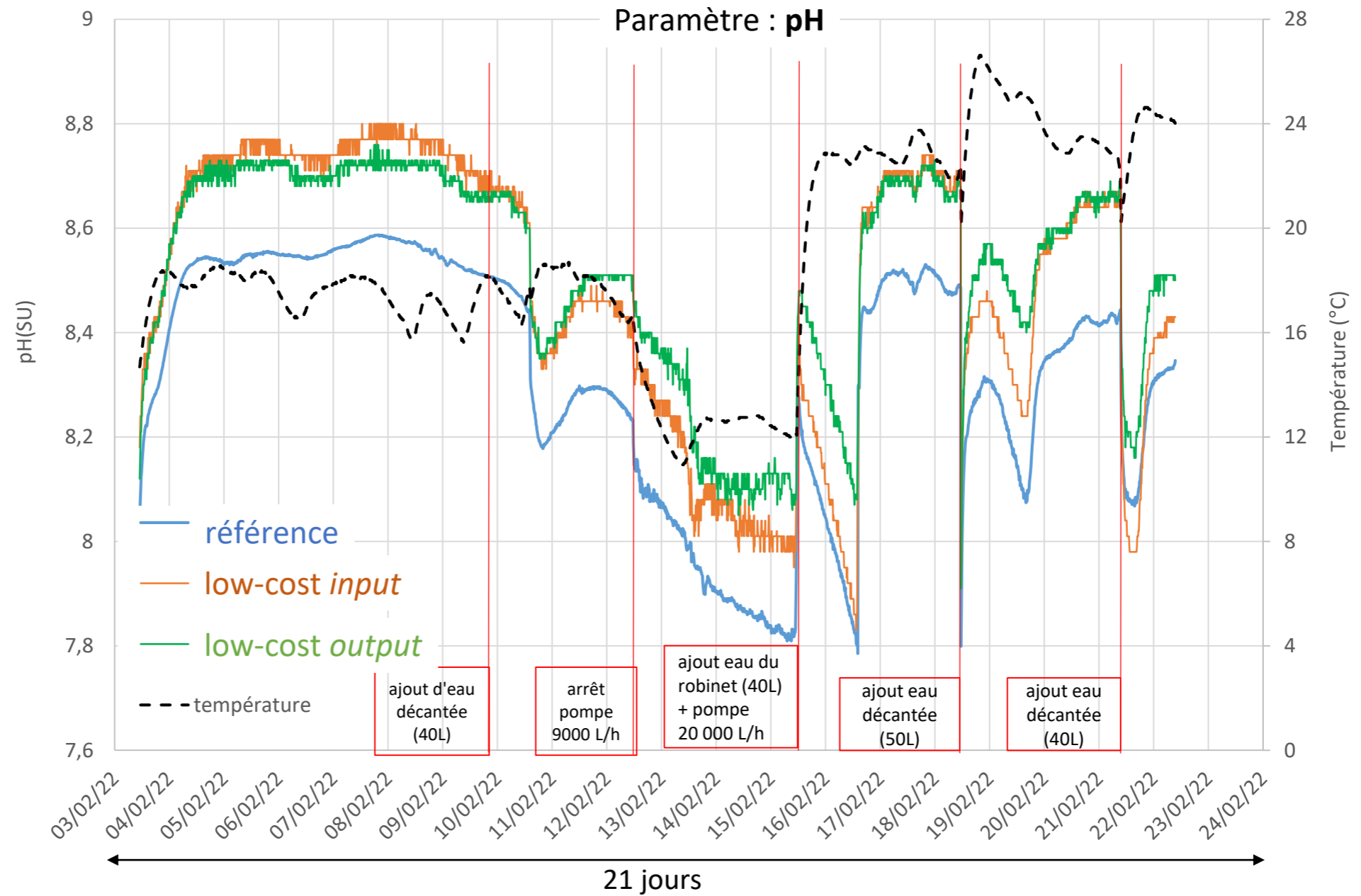
Interrogés sur leurs besoins actuels, les utilisateurs semblent principalement intéressés par :

- la mesure sans source d'énergie électrique (capteurs autonomes)
- la réduction des coûts d'exploitation (étalonnage, nettoyage...)
- la détection des dysfonctionnements.

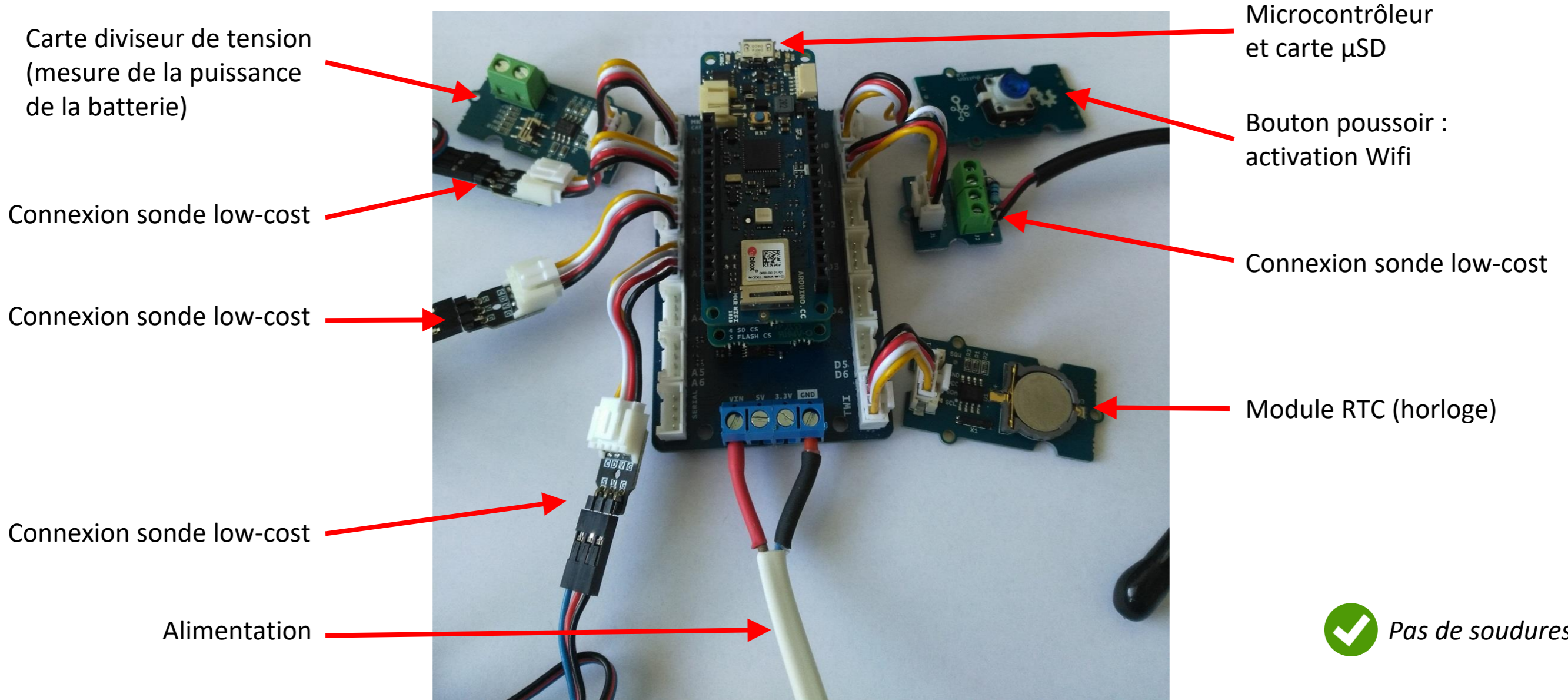
Les paramètres de suivi :

- mesure de débit
- surverses d'eaux usées vers le milieu récepteur, en temps de pluie
- paramètres énergétiques (temps de fonctionnement des moteurs)
- paramètres physico-chimiques : conductivité, pH et redox = mesures de base d'intérêt majeur

→ TEST SUR BANC D'ESSAI EN EAUX USÉES
(// SONDE DE RÉFÉRENCE)



Chaine de mesures SETIER (exemple)



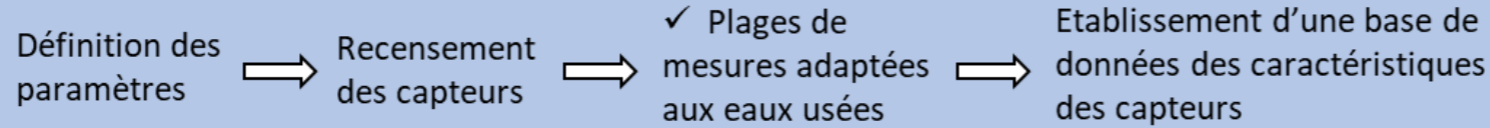
2. Sélection des capteurs

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE INTERNATIONALE

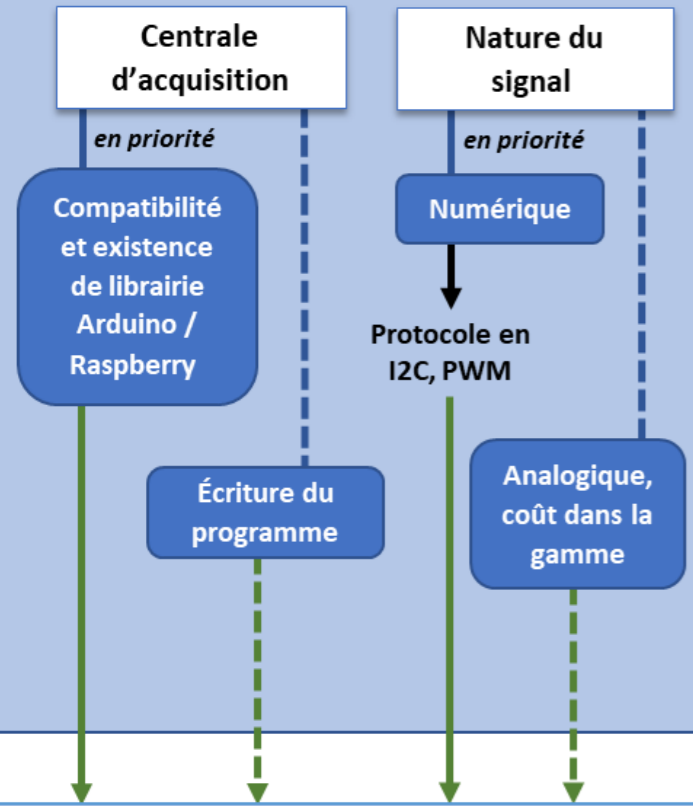
- IDENTIFICATION DES CAPTEURS ET
FABRICANTS PERTINENTS
- ETABLISSEMENT D'UN PROTOCOLE DE
SÉLECTION DES CAPTEURS

Logigramme de sélection des capteurs :

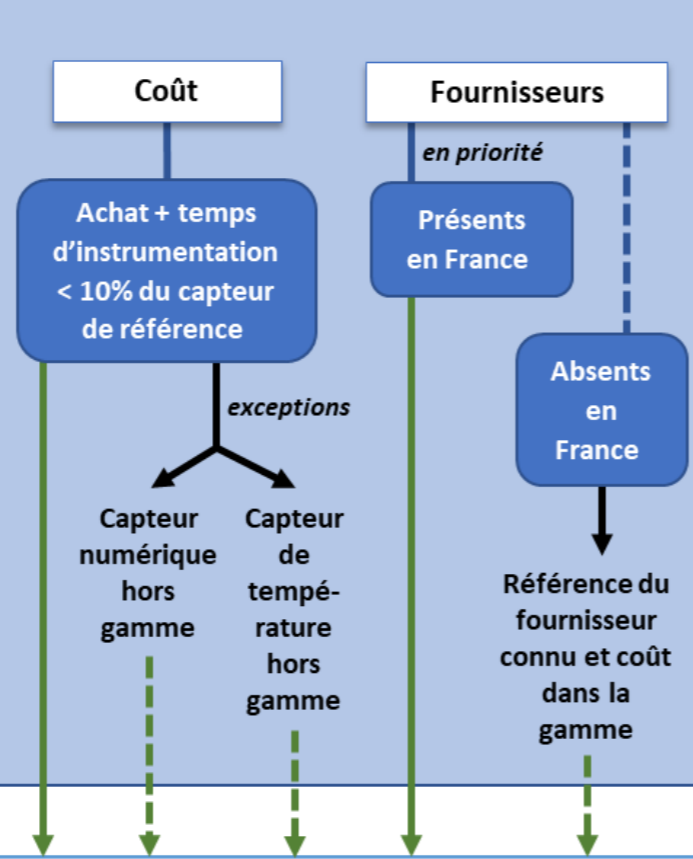
IDENTIFICATION DES CAPTEURS



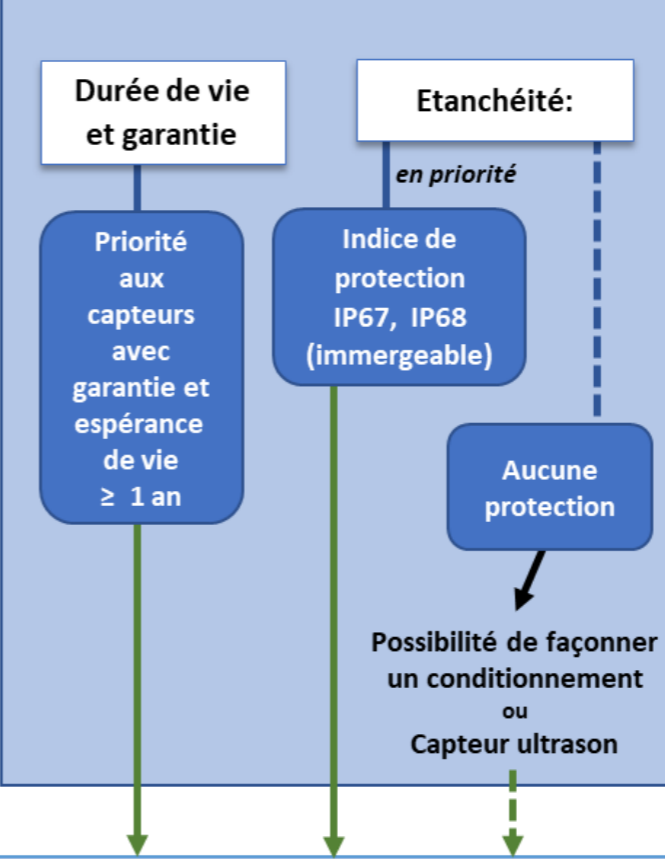
CRITÈRE 1 : ADÉQUATION AVEC UN DATALOGGER TYPE « LEGO »



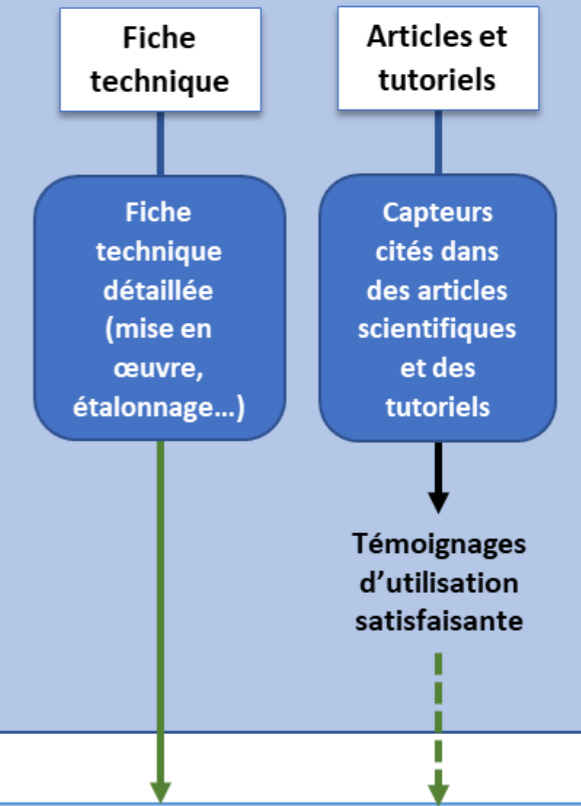
CRITÈRE 2 : ACHAT



CRITÈRE 3 : ROBUSTESSE



CRITÈRE 4 : DISPONIBILITÉ D'UNE DOCUMENTATION



CAPTEURS SÉLECTIONNÉS (si tous les critères s'appliquent)