

1) CONTEXTE, SYSTEME HYBRIDE ET OBJECTIFS

Dans un contexte d'économie d'énergie et du réchauffement climatique, les routes ont un rôle à jouer. Et si elles devenaient des actrices de la transition énergétique ?

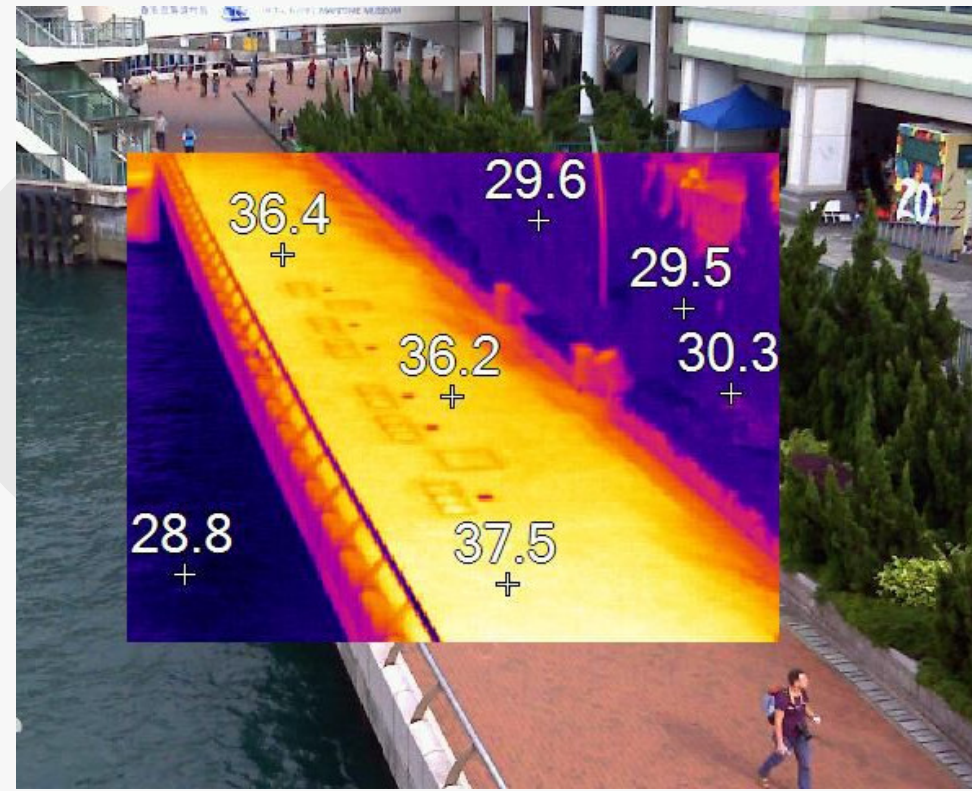


Figure 1: Température de surface d'une chaussée (Ekovita).

Idées :

- Récupérer l'énergie solaire photovoltaïque et thermique.
- Thermoréguler les routes, via des circuits fermés intégrés dans la couche de roulement.

Le système hybride :

Un concept combinant du haut vers le bas:

- Couche semi-transparente avec des cellules photovoltaïques
- couche de béton poreux pour la circulation du fluide caloporteur.
- couche de résistance au trafic en béton.

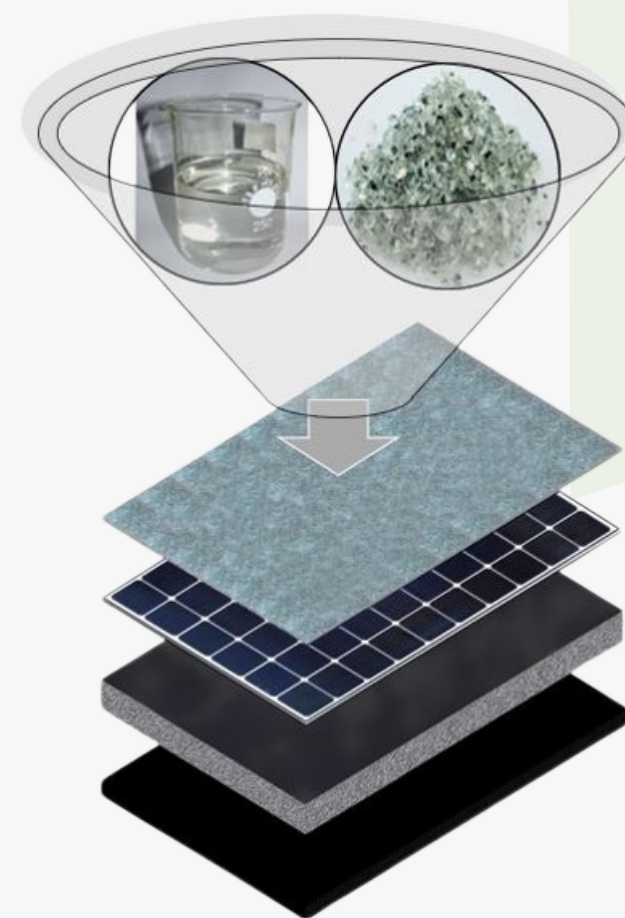


Figure 2: Système de chaussée capable de capter l'énergie solaire (D. Vizzari et al, 2020).

Objectifs :

Se concentrer sur la couche poreuse qui présente un rendement de 70% (en configuration système hybride)

- Etude fine des mécanismes régissant les échanges thermiques fluide/matrice poreuse.
- Evaluer le comportement mécanique du matériau poreux.
- Tester différents type de béton poreux et des structures poreuses innovantes.
- Simulation numérique de la contribution thermique.
- Rechercher une structure poreuse optimisée en termes d'échanges thermiques et de propriétés mécaniques.

Fig 1 : Ekovita, https://ekovita.mk/web/?page_id=233.

Fig 2 : Domenico Vizzari. Mix-design of a novel semi-transparent layer for solar roads. Civil Engineering. École centrale de Nantes, 2020. English. (NNT : 2020ECDN0023).

2) DEMARCHE

1. Dimensionnement préalable

Bilan énergétique global

$$Q_{\text{abs}} = Q_{\text{lampe}} = m_e C_{pe} (T_s - T_e) = Q_c + Q_{cd}$$

Un bilan énergétique a permis d'estimer la contribution relative de la convection ($\approx 90\%$) et de la conduction ($\approx 10\%$) dans les échanges thermiques au sein de la couche poreuse en béton.

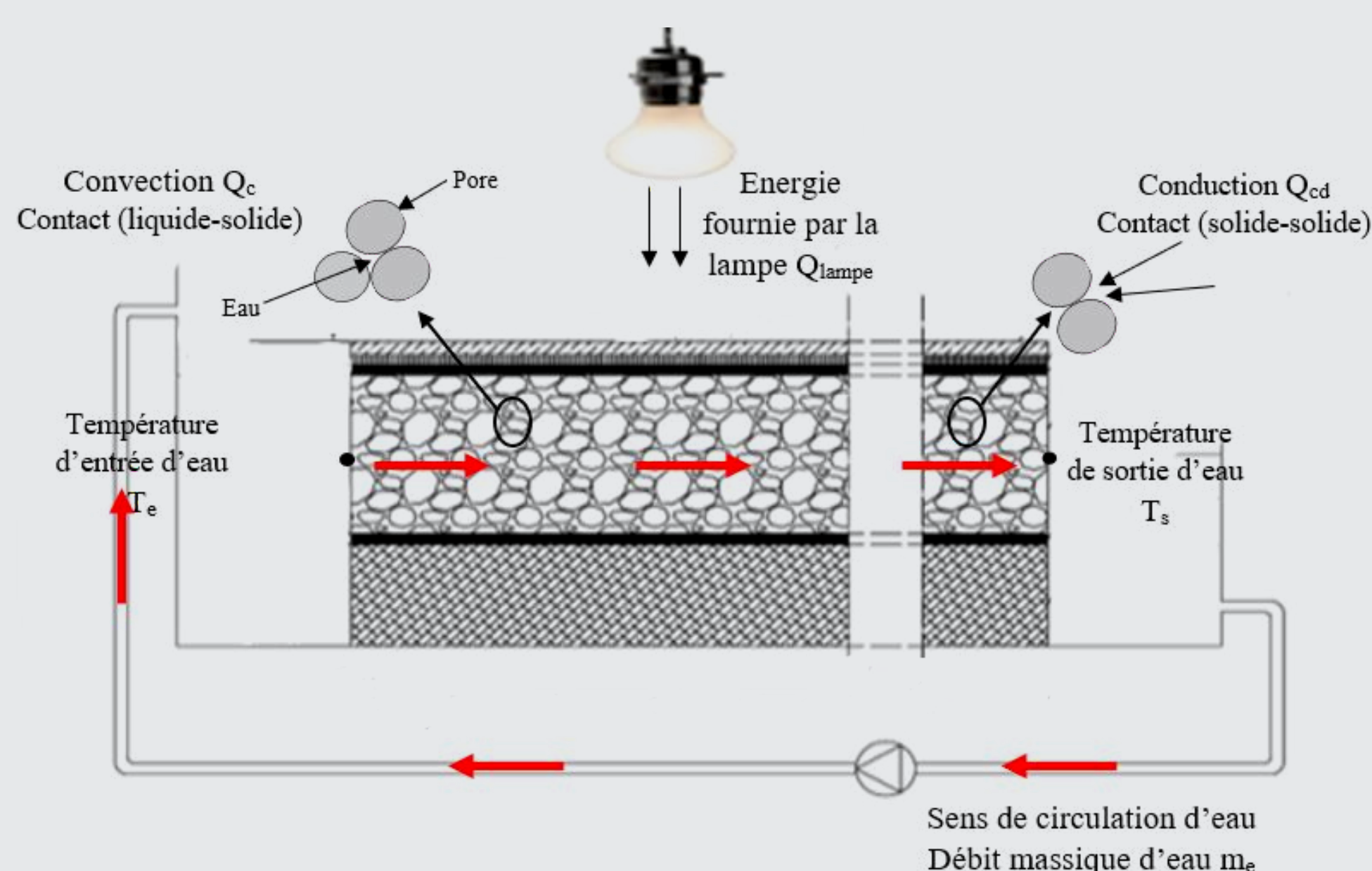


Figure 3: Schéma du système hybride (E. Genesseeux et al, 2024)

2. Analyse de rendement énergétique

- Pertes énergétiques par dissipation mécanique:** Générées par le passage du fluide à travers le milieu poreux, et gouvernées par la porosité, la perméabilité et la tortuosité du milieu poreux.

- Gains énergétiques et transferts thermiques:** La chaleur issue de l'absorption du rayonnement solaire est transférée dans la matrice par convection et conduction, avec prise en compte des conditions aux limites (entrée/sortie).

3. Mise au point d'un montage expérimental

Colonne cylindrique intégrant un échantillon de milieu poreux soumis à un chauffage périphérique contrôlé, dans lequel l'eau circule en circuit hydraulique fermé à débit et température d'entrée maîtrisés.

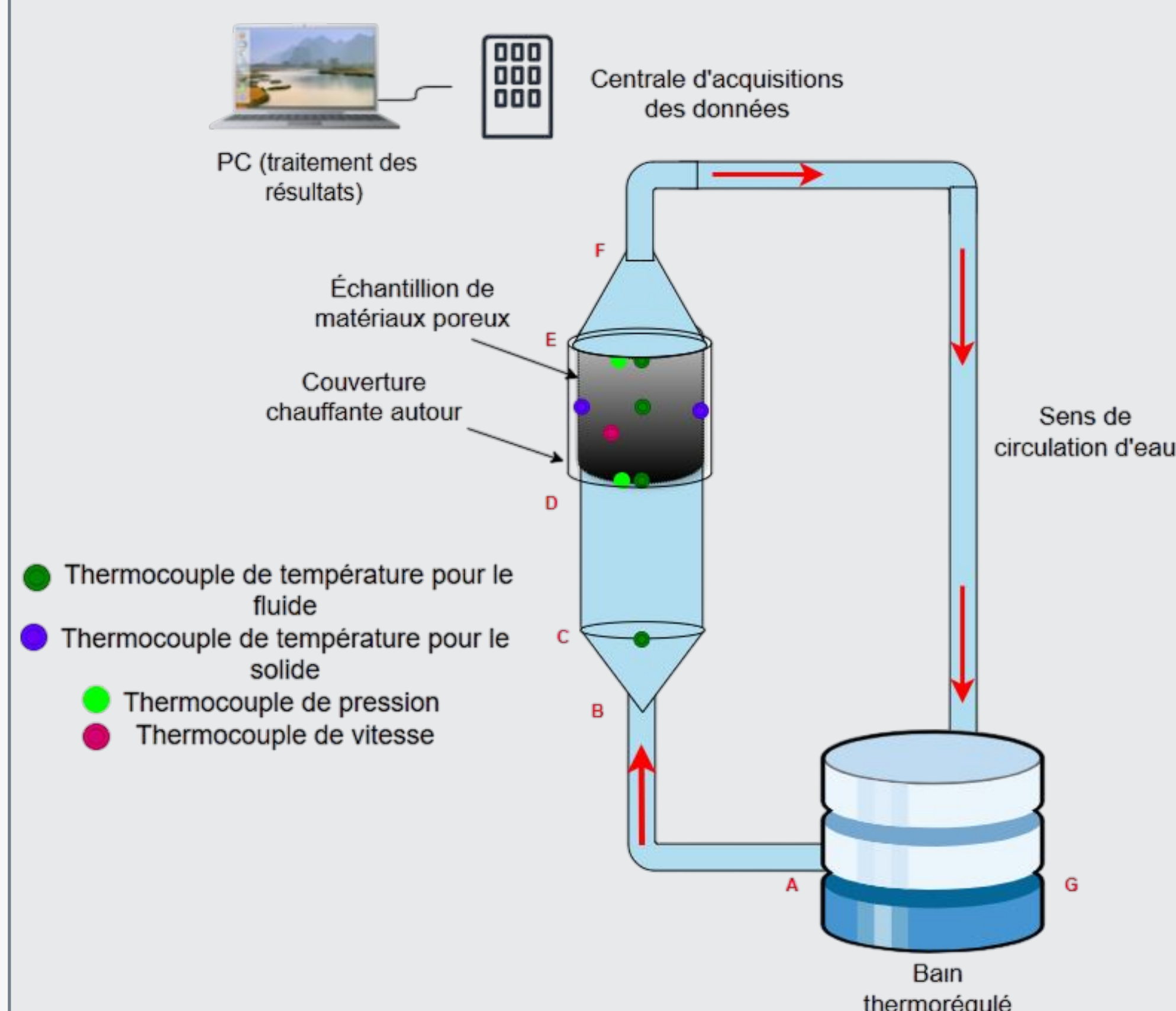


Figure 4: Montage expérimental dédié à l'évaluation de la réponse thermique d'un matériau poreux

4. Matériaux d'étude envisagés

- Béton poreux de différentes porosités et tailles de pores.
- Béton à conductivité thermique renforcée (graphite, fibre d'acier, carbure de silicium ...)
- Structures innovantes poreuse de type TPMS, des géométries 3D inspirées de la nature avec des propriétés remarquables:
 - Forte perméabilité et porosité (jusqu'à 75%).
 - Porosité contrôlée (géométrie interne des pores).
 - Propriétés mécaniques maximisées.
 - Amélioration des transferts thermique.

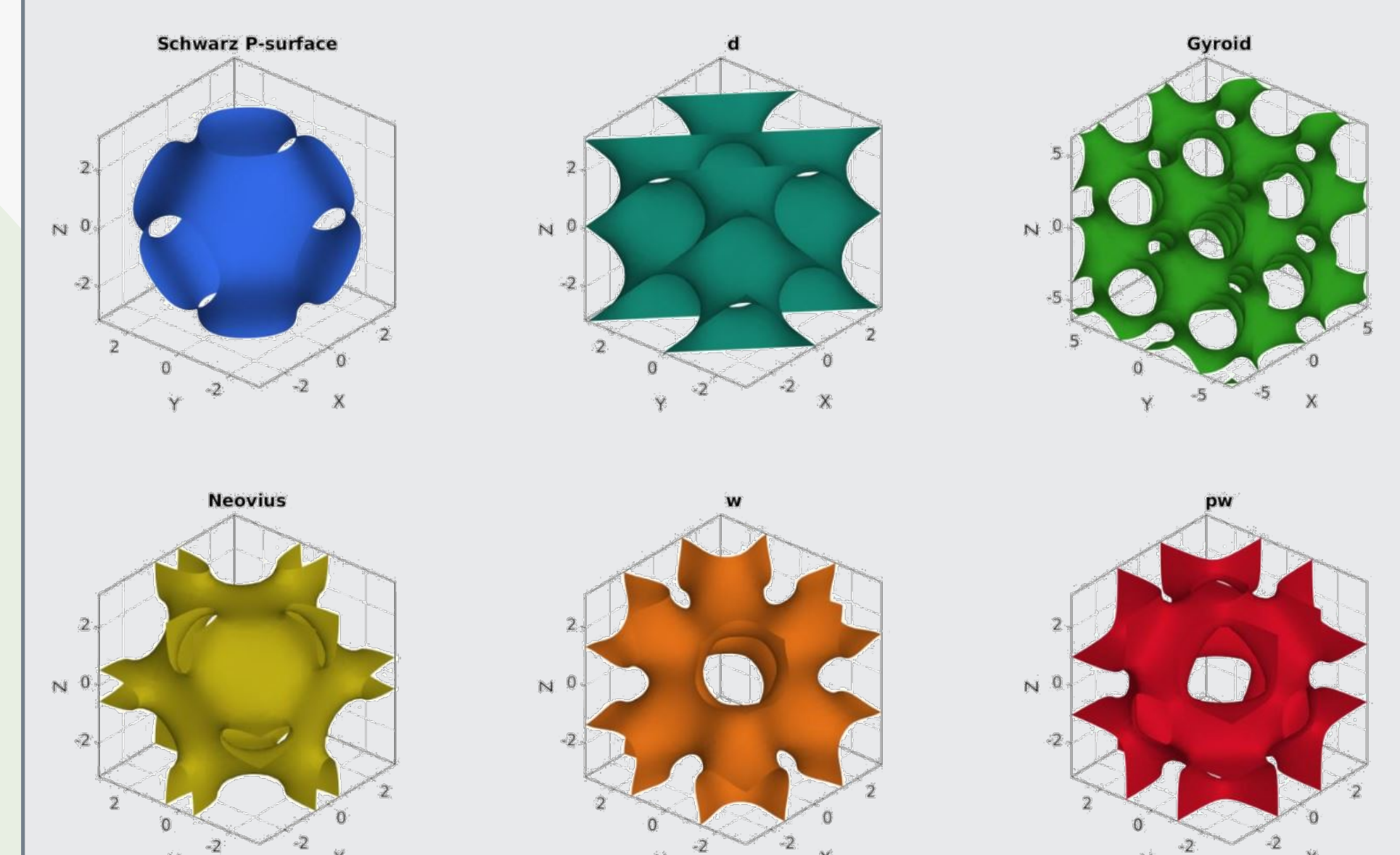


Figure 5: Illustration 3D des structures TPMS (K. M. Moerman, 2021)

Fig 3 : Eric Genesseeux, Domenico Vizzari, Jean Dumoulin, Emmanuel Chailleux, Stéphane Lavaud, et al.. Laboratory and full-scale experiment of a novel hybrid system to harvest energy through concrete pavement. ICCP 2024 - 13th International Conference on Concrete Pavements, ISCP, Aug 2024, Minneapolis, United States. (hal-04723731).

Fig 5 : K. M. Moerman. https://www.gibboncode.org/html/HELP_triplyPeriodicMinimal.html, 2021.