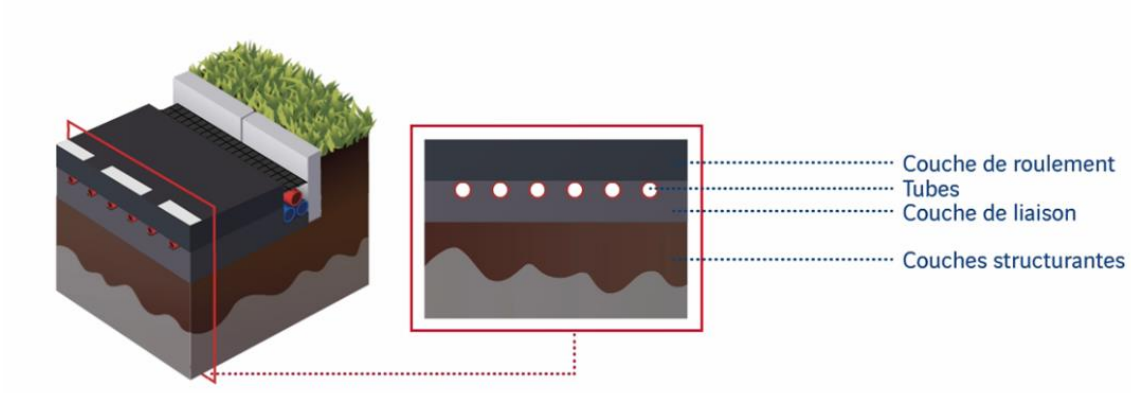
APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3037_V1

ATEx de cas a

Validité du 19/09/2022 au 30/09/2025



Copyright : Vinci Construction

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. *(extrait de l'art. 24)*

A LA DEMANDE DE :

Vinci Construction
L'Archipel
1973 boulevard de la Défense
92757 NANTERRE cedex

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3037_V1

<u>Note Liminaire</u> : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé « POWER ROAD » de récupération de la chaleur dans les infrastructures routières recouvertes par des enrobés bitumineux.

Les systèmes énergétiques auxquels ce procédé peut être raccordé n'ont pas été examinés dans cette ATEx.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 19/09/2022, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEx ci-dessous définie :

- demandeur : Société Vinci Construction
- technique objet de l'expérimentation : système POWER ROAD de *récupération de la chaleur dans les infrastructures routières recouvertes par des enrobés bitumineux grâce à la mise en circulation d'un fluide caloporteur dans un réseau de canalisations intégrées dans l'enrobé. Les voiries peuvent être :*
  - *des voiries pour véhicules légers (avec une couche de roulement de 5 cm) ;*
  - *des voiries pour véhicules lourds (avec une couche de roulement de 8 cm), y compris les voies engin et voies échelle au sens du également de sécurité des ERP (arrêté du 25 juin 1980) et de l'arrêté du 31 janvier 1986 modifié relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation.*

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEx 3037_V1 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

*<u>Remarque importante</u> : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **30/09/2025**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations et attendus formulés aux §5 et 6.*

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) <u>Sécurité</u>

1.1 – Stabilité des ouvrages et/ou sécurité des équipements

Les essais et calculs réalisés et les dispositions prévues permettent d'escompter – pour des voiries équipées du procédé Power Road – un comportement équivalent à celui des voiries traditionnelles, notamment en ce qui concerne la résistance à l'orniérage et au poinçonnement.

1.2 – Sécurité des intervenants

Le procédé Power Road n'impose pas de contraintes de sécurité supplémentaires par rapport à un chantier habituel de mise en œuvre d'un enrobé.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Dans le cas des voiries pour véhicule lourds (avec une couche de roulement de 8 cm), les justifications techniques apportées permettent d'escompter une résistance au poinçonnement telle que requise dans le cas de voies échelle.

2°) <u>Faisabilité</u>

2.1 – Production

La maîtrise de la formulation des enrobés ne pose pas de difficulté particulière compte tenu de la documentation interne mise en place par Vinci Construction.

Les caractéristiques de la matière des tubes MULTIBETON mis en œuvre doivent être vérifiées à chaque chantier (voir attendus).

Les autres composants n'appellent pas de remarque particulière quant à la constance de fabrication.

2.2 – Mise en œuvre :

La mise en œuvre du procédé doit être réalisée par des équipes du groupe Vinci Construction, avec l'assistance technique et la formation de sa Direction Technique. Les principales caractéristiques permettant la maîtrise de la mise en œuvre sont les suivantes :

- Le retour d'expérience documenté en interne par Vinci Construction
- La formation et l'accompagnement des conducteur de travaux
- Les particularités de la mise en œuvre des tubes :
  - Déroulage à chaud (méthode par rainurage),
  - Refroidissement des tubes et maîtrise de la température de l'enrobée au moment de la pose de l'enrobée.

Les autres techniques de mise en œuvre, notamment en ce qui concerne les collecteurs de raccordement des différentes boucles ne posent pas de difficulté particulière.

2.3 – Assistance technique

La Direction Technique du Groupe Vinci Construction doit apporter son assistance technique aux bureaux d'études en change du dimensionnement et de la conception des systèmes énergétiques associés au procédé Power Road. Cette assistance Technique comporte notamment la fourniture des résultats de simulation énergétique du procédé.

3°) Risques de désordres

Outre les justifications apportées concernant le dimensionnement de la voirie (résistance au trafic, à l'orniérage et au poinçonnement), le principal risque de désordre est la défaillance ou endommagement accidentel d'une des boucles de captage du procédé. Une telle défaillance peut être identifiée par une fuite apparente de fluide glycolé ou grâce au pressostat prévu en local technique. Les possibilités de gestion de ces événements sont :

- L'isolement et abandon de la boucle (réduction de la surface effective du procédé),
- Le remplacement d'une ou plusieurs boucles par la méthode de mise en œuvre par rainurage.

4°) Appréciations complémentaires

- Possibilité de réfection de la couche de roulement :

  La profondeur d'enfouissement a été déterminée pour permettre le renouvellement de la couche de surface, sans endommager les tubes MULTIBETON.
- Fin de vie :

  Lors des opérations de rabotage, les tubes MULTIBETON se présentent sous forme de morceaux de l'ordre de 20 centimètres à quelques mètres ; ils peuvent être extraits à la main à plusieurs étapes du traitement. Après extraction de ces morceaux, les caractéristiques des fraisats sont conformes aux règles couramment employées dans ce domaine (norme EN 933-11 et au guide du BTP 2016).
- Impact environnemental :

  Ce procédé pourrait avoir un effet sur les impacts environnementaux suivants :
  - Lorsqu'il est utilisé en rechargement de champ de sondes géothermiques, ce procédé est destiné à améliorer le rendement de l'installation énergétique à laquelle il est associé.
  - Dans le cas de certains chantiers, le procédé peut être utilisé à des fins de viabilisation hivernale, en alternative à l'utilisation de sels fondants.

  Le rôle d'une ATEx n'est pas de remplacer les évaluations environnementales existantes par ailleurs.

  Lorsque l'analyse de l'impact environnemental est requise, celle-ci doit être réalisée grâce à une analyse de cycle de vie (ACV) réalisée conformément aux normes réglementations de ce domaine.
- Loi « Climat et résilience »

  L'article L111-19-1 du code de l'urbanisme est applicable à partir du 1er juillet 2023. Il a été créé par la loi « climat et résilience » (loi 2021-1104 du 22 août 2021). Cet article prévoit que certains parkings favorisent « la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation » et soient équipés « d'ombrières concourant à l'ombrage desdits parcs » « sur au moins la moitié de leur surface ».

Le procédé Power Road est de fait incompatible avec un dispositif de type ombrière. Il est également imperméable.

Pour les parkings soumis aux obligations de l'article L111-19-1 du code de l'urbanisme :

- les surfaces non équipées du Power Road devront être aménagées en vue du respect de cette obligation,
- et/ou les autres dispositions prévues dans cet article devront être utilisées pour justifier du respect de la réglementation.

5°) Recommandations

- Dimensionnement du système énergétique associé au PowerRoad

  Les systèmes énergétiques auxquels ce procédé peut être raccordé n'ont pas été examinés dans cette ATEx. Leur conception et leur dimensionnement relèvent de la responsabilité des concepteurs (bureaux d'études notamment). Dans le cadre de cette ATEx, le fonctionnement et la durabilité du procédé sont probables, mais les défaillances ne peuvent être exclues. Il est recommandé que le dimensionnement de ces systèmes énergétiques prenne en compte ce risque de façon à éviter notamment le sous-dimensionnement par rapport au besoin et l'impropriété à destination du bâtiment alimenté par le système énergétique.
- Purge du circuit hydraulique

  Une attention particulière doit être apportée à la bonne purge du circuit hydraulique du Power Road au moment de sa mise en service. La faisabilité de cette purge ne pose pas de difficulté particulière.
- Gestion des fluides glycolés

  Les fluides glycolés doivent être gérés conformément à la réglementation relative aux produits chimiques.
  Ils ne doivent être rejetés ni dans la nature, ni dans les réseaux d'eau usées ou d'eau pluviales.

6°) Attendus

- Vérification de la matière du tube MULTIBETON.

  Les caractéristiques de la matière utilisée dans le lot de tubes MULTIBETON doivent être attestées à chaque chantier. Une attestation du fabricant spécifique au chantier peut répondre à cet attendu. La matière du tube doit être : résine HOSTALEN PPH 2222 ROT de BASELL.
- Plan de calepinage

  Un plan de calepinage – intégrant les ouvrages à proximité – doit être fourni au maître d'ouvrage (au titre du DOE et du DIUO). Ce plan doit être affiché dans le local technique.
- Plan de comptage : un plan de comptage spécifique du procédé Power Road doit être mis en œuvre :
  - Il peut être intégré au plan de comptage général de l'installation.
  - Il doit prendre en compte a minima les points de mesure suivants :
    - Température d'entrée du Power Road (typiquement : au départ du local technique),
    - Température de sortie du procédé (typiquement : au retour dans le local technique),
    - Compteur d'énergie bidirectionnel pour mesurer l'énergie extraite et l'énergie envoyée au procédé Power Road,
    - Compteur d'énergie électrique permettant de mesurer de façon séparée l'énergie consommée par les pompes et les accessoires électriques spécifiques du procédé Power Road.
- Plan de maintenance

  Le plan de maintenance de l'installation doit intégrer, a minima 1 fois par an :
  - la vérification de la bonne purge des différentes boucles du procédé Power Road,
  - la vérification du point de gel.

7°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations et attendus ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

Conclusion FAVORABLE

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est réelle,
- Les désordres sont peu probables.

Champs sur Marne,
La Présidente du Comité d'Experts,

Coralie NGUYEN

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Vinci Construction
L'Archipel
1973 boulevard de la Défense
92757 NANTERRE cedex

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Le procédé « Power Road » est un système de récupération de la chaleur dans les infrastructures routières recouvertes par des enrobés bitumineux.

Un fluide glycolé est mis en circulation dans la chaussée. Le réseau de fluide ainsi constitué capte la chaleur de la chaussée (40°C à 70 °C en été) et la restitue au système énergétique d'un bâtiment situé à proximité.

Éléments constitutifs :

Un ensemble de boucles en tube en polypropylène (marque MULTIBETON type MB-SR17 de diamètre extérieur 17 mm, sans barrière antioxygène) est intégré dans la couche de liaison de la chaussée. Il est ensuite recouvert par la couche de roulement.

Note : Dans ce procédé, les rails de fixation en acier – habituellement recommandés par MULTIBETON – ne sont pas utilisés pour le maintien des tubes dans l'enrobé.

Des accessoires permettant la réalisation du réseau hydraulique ont également été sélectionnés (ensemble de raccords de marque POLYTEK). Ils permettent le raccordement hydraulique des boucles à un local technique et au système énergétique du bâtiment.

Les composants de l'enrobé font partie des composants couramment utilisés dans les ouvrages de voirie. Leur formulation a été sélectionnée pour s'adapter aux contraintes du procédé.

Mise en œuvre :

Le procédé a été développé en intégrant 2 variantes de mise en œuvre :

- mise en œuvre par indentation – destinée à des ouvrages essentiellement linéaires,
- mise en œuvre par rainurage – qui permet d'équiper des ouvrages de géométrie complexe.

La mise en œuvre de ce procédé est réalisée exclusivement par des équipes du groupe VINCI CONSTRUCTION, avec l'assistance technique de la Direction Technique de VINCI CONSTRUCTION Services Partagés.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 3037_V1 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 39 pages.

Procédé « Power Road »

« Dossier technique établi par le demandeur »

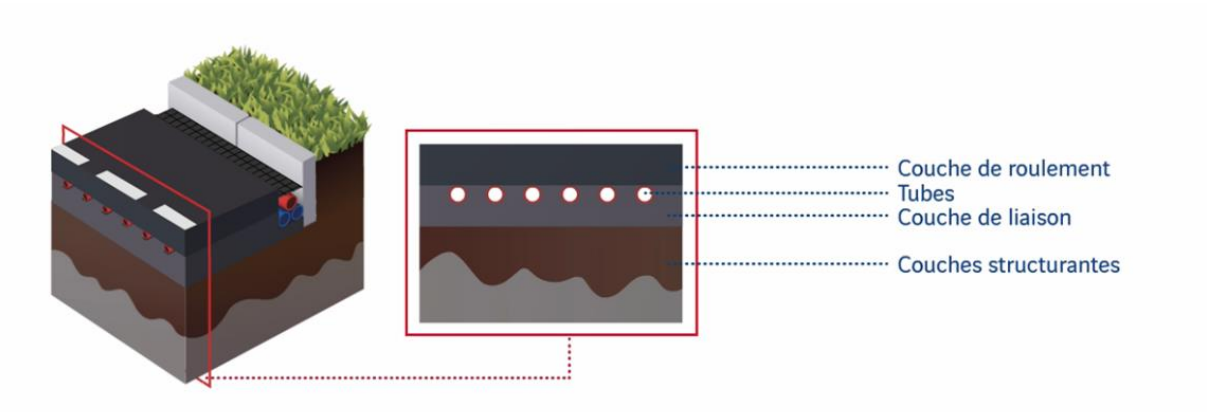
Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Version 1.1 remis le 29 septembre 2022

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEx 3037_V1.

Fin du rapport

Appréciation Technique Expérimentale



Objet : Instruction d'un dossier pour une Appréciation technique d'expérimentation - ATEx

Table des matières

Préambule 4
1 Description du procédé POWER ROAD 4
2 Domaine d'emploi 6
3 Méthode de mise en œuvre 7
3.1 Principe de mise en œuvre des tubes dans la chaussée 7
3.2 Principes de raccordement 10
3.3 Définition des matériaux utilisés 11
3.3.1 Enrobés bitumineux 11
3.3.2 Tubes 12
3.3.3 Raccordement en regard 13
Collecteurs MULTIBETON 13
3.3.4 Fluide caloporteur 13
3.4 Procédés de mise en œuvre et contrôles 14
3.5 Régulation et contraintes de fonctionnement 14
3.6 Instrumentation 15
3.7 Mise en service 15
3.8 Entretien et réparation 15
3.9 Fin de vie 16
4 Formation 16
4.1 Démarche 16
4.2 Supports de formation 18
5 Dimensionnement 19
5.1 Dimensionnement mécanique du procédé 19
5.2 Dimensionnement énergétique 19
5.2.1 Installation géothermique avec recharge du champ de sondes 19
5.2.2 Performances de captage solaire thermique du capteur Power Road 20
5.2.3 Dimensionnement des surfaces et du raccordement à l'installation 21
6 Fonctionnement et contrôle/commande associé 22
7 Liste de chantiers références 23
7.1 Chauffage de logements sociaux à Fleury-sur-Orne, Calvados 23
7.2 Centre Technique routier d'Olonzac, Hérault 23
7.3 Préchauffage des bassins de la piscine de Feurs, Loire 25
7.4 Pilote D1 à Saint-Arnoult-en-Yvelines, Yvelines 26

7.5 Déneigement du parking Place Becquerel à Pontarlier, Doubs 27
7.6 Déverglaçage d'une route à Egletons, Corrèze 28
ANNEXE : Recueil de justificatifs du dossier de demande..... 29
A Suivi de la mise en œuvre et performance mécanique..... 29
A.1 Mise au point de la méthode de pose (échelle du laboratoire)..... 29
A.2 Validation des méthodes de pose (échelle chantier)..... 29
A.3 Performance mécanique (échelle chantier)..... 30
A.4 Suivi des chantiers..... 30
A.5 Bilan..... 30
B Performance énergétique du capteur Power Road 31
B.1 Mesure du potentiel de captage de Power Road (laboratoire) 31
B.2 Mesure du potentiel de captage de Power Road (échelle réelle)..... 32
B.3 Validation des modèles CEA Tech 33
B.4 Validation par Eurovia des modèles développés par le CEA tech 35
B.5 Bilan..... 36
C Performance énergétique des installations Power Road..... 37
C.1 Instrumentation des installations..... 37
C.2 Performance de l'opération de Saint-Arnoult-en-Yvelines 38
C.3 Performance de l'installation d'Olonzac 39

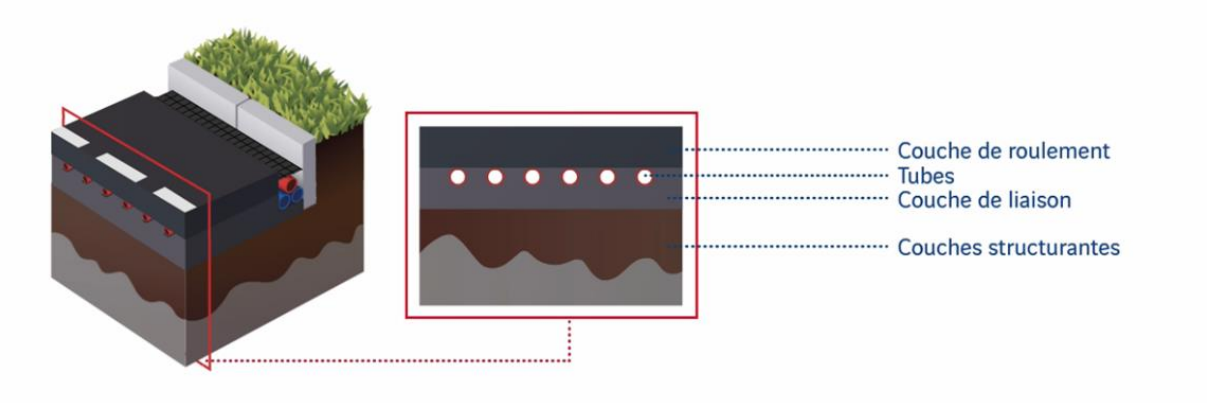
Préambule

Le projet Novatherm® s'est vu attribuer en 2017 une participation du Programme d'Investissement d'Avenir ''Route du Futur'' opéré par l'ADEME (contrat ADEME n°1782C0066). Le procédé Novatherm® a fait l'objet d'un lancement commercial sous la marque Power Road® le 16 octobre 2017. Dans la suite du document il sera uniquement évoqué le nom de Power Road®.

1 Description du procédé POWER ROAD

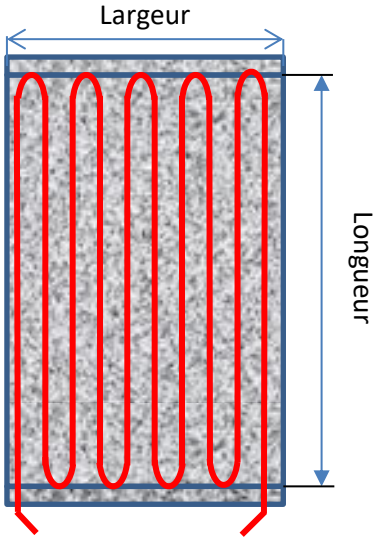
Sous l'action du rayonnement solaire, les infrastructures routières, revêtues d'enrobés bitumineux de couleur noire, peuvent atteindre en été 60°C à 70°C en surface, et 40°C sur leurs dix premiers centimètres. Ces chaussées se présentent ainsi comme des capteurs solaires thermiques performants.

Le principe du procédé Power Road®, développé par EUROVIA, est de récupérer cette chaleur renouvelable disponible en gardant les caractéristiques mécaniques, de durabilité et de recyclabilité d'une chaussée classique. La chaleur renouvelable est captée en intégrant un échangeur thermique dans les couches de surface de la chaussée (sous la couche de roulement, soit entre 5 et 8 cm de profondeur). Cet échangeur est constitué d'un **réseau de tubes** en polypropylène à l'intérieur desquels circule **un fluide caloporteur** (généralement du mono-propylène glycol dilué entre 10 et 30%). Sous l'effet du rayonnement solaire, ce fluide caloporteur s'échauffe progressivement pour atteindre une température s'élevant jusqu'à 40°C.



Power Road est globalement un échangeur thermique : c'est un réseau de tubes intégré dans la chaussée. Ce réseau est constitué d'un ensemble de boucles d'une longueur généralement supérieure à 60m faisant plusieurs aller/retour en fonction de la surface à équiper. Conformément aux règles de l'art, une boucle a une longueur de tube maximum de 120m.

Chaque boucle est raccordée à un collecteur.



	Caractéristique
Matière des tubes	Polypropylène (PP)
Diamètre des tubes	17 mm de diamètre extérieur et 2 mm d'épaisseur
Longueur des boucles	60 à 80 m (<120 m)
Espacement des tubes	25 cm
Surface d'une boucle	15 à 20 m²

Tableau 1 : Principales caractéristiques de l'échangeur.

Le dimensionnement de la structure de chaussée routière qui consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent n'est pas modifié par la présence de l'échangeur thermique. Le type de trafic (véhicule léger ou poids lourds) impacte seulement la position des tubes dans la structure de chaussée (Cf. Tableau 2).

Type de trafic	Profondeur des tubes
Véhicules légers	-5 cm
Poids lourds	-8 cm

Tableau 2 : Préconisation sur la profondeur des tubes (=épaisseur de la couche de roulement).

Power Road® est donc adapté à des chaussées routières avec trafic poids lourds, sans limitation de charge comme les voies utilisables par les engins des services de secours et de lutte contre l'incendie, par les engins d'évacuation déchets, …).

Les opérations courantes d'entretien peuvent être réalisées sur la chaussée ; la profondeur des tubes permet le renouvellement des couches de surface :

- Pour des chaussées fortement sollicitées, avec des pertes d'adhérence, la couche de renouvellement sera renouvelée 2 fois sur une période de 50 ans.
- Pour les chaussées annexes des bâtiments, avec un faible trafic, un seul renouvellement sera à prévoir.

Précautions d'implantation :

- Power Road est un capteur solaire. Il devra être de préférence positionné sur des zones sans ombrages (stationnement, bâtiment, végétation).
- Son implantation tiendra également compte des réseaux enterrés pour faciliter les opérations de maintenance sur ces réseaux. Les interventions de maintenance devront prendre en compte la présence des tubes Power Road soit en travaillant entre les tubes (des techniques de repérage existent comme les observations par caméra thermique) soit en isolant une boucle de tubes (avec remplacement de la surface condamnée après intervention).

2 Domaine d'emploi

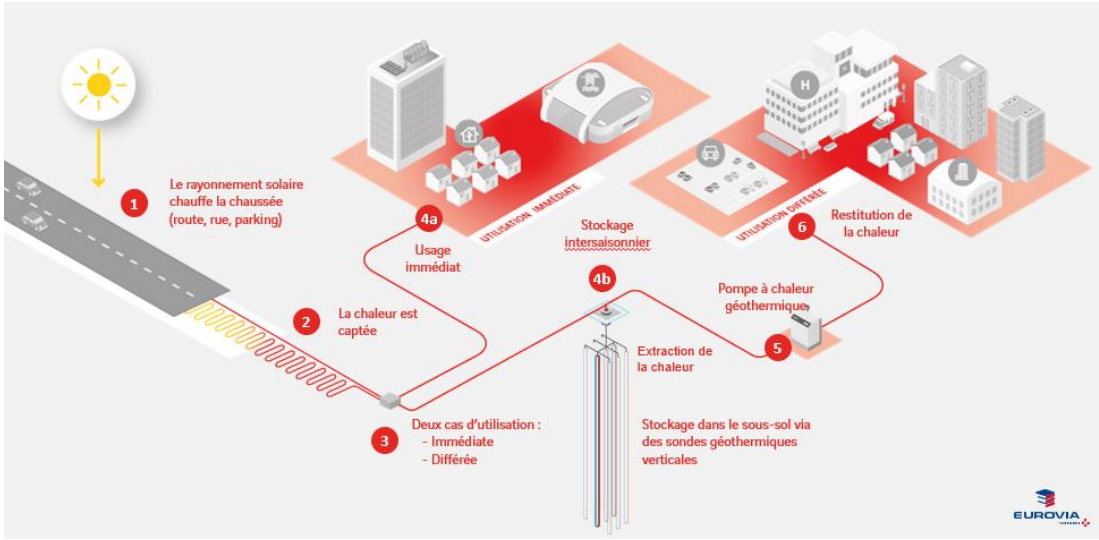


Figure 1 : Domaine d'emploi du procédé Power Road

L'énergie thermique captée par Power Road® peut être utilisée suivant deux temporalités : **immédiate ou différée :**

- Immédiate : La chaleur n'est pas stockée mais est redistribuée aussitôt (4a) pour chauffer un bâtiment ou une infrastructure qui la jouxte (eau chaude sanitaire, bassins de piscine etc…).
- Différée : Lorsque les besoins de chaleur sont décalés dans le temps par rapport à la période de production, la chaleur est alors stockée le printemps et l'été pour quelques mois avant d'être restituée en période automnale et hivernale (période de chauffage des bâtiments). Power Road ® est généralement associé à de la géothermie pour réaliser un stockage inter-saisonnier (4b) de la chaleur dans le sol, constitué d'un champ de sondes. La géothermie permet ainsi de gérer l'intermittence de l'énergie thermique solaire.

Le cas d'usage le plus courant et complet est l'utilisation de l'énergie captée par Power Road pour recharger un champ de sondes géothermiques ; ce cas d'usage permet d'illustrer l'intégration de Power Road à ce système énergétique :

1) Pour produire l'énergie thermique nécessaire, Power Road® et le stockage intersaisonnier sont associés à **une pompe à chaleur** (PAC) géothermique : la PAC récupère la chaleur gratuite stockée dans le sous-sol pour la restituer suivant les besoins.
2) Ces besoins peuvent être les besoins de **chauffage** de bâtiments, résidentiels ou tertiaires, mais aussi des besoins **de déneigement ou déverglaçage** des chaussées dans le cadre de la viabilité hivernale.

Le périmètre de l'Appréciation Technique d'Expérimentation ne concerne que la partie « échangeur thermique » c'est-à-dire les enrobés bitumineux, les tubes en polypropylène ainsi que les raccordements de ces tubes en bord de voie et enfin l'instrumentation de cet échangeur afin de suivre ses performances. Les systèmes énergétiques susceptibles d'intégrer le procédé PowerRoad

n'ont été examinés par le Comité d'ATEx qu'à titre d'exemples d'applications possibles du procédé. Aucun avis n'a été porté sur les performances globales d'un tel système énergétique.

Les autres parties du procédé Power Road® (géothermie sur sondes verticales, pompes à chaleur géothermique, local technique) sont des techniques courantes. Pour dimensionner l'installation géothermique assistée par une pompe à chaleur, l'intervention d'un bureau d'études spécialisé en thermique du sous-sol est impérative pour le collectif et le tertiaire – Cf. norme NF X10-970, Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé). Le bureau d'études devra être certifié OPQiBi (Qualification 1007, Etude des ressources géothermiques ou qualification 2013, Ingénierie des installations de production utilisant l'énergie géothermique). Il prendra en compte la spécificité du rechargement du champ de sondes par Power Road dans son dimensionnement ; la méthode s'apparente au cas du rechargement du sous-sol en été en climatisant un bâtiment.

De manière courante, les sondes géothermiques verticales (échangeurs fermés) auront pour principales caractéristiques :

- une profondeur de forage inférieure à 200 mètres,
- une puissance thermique maximale échangée avec le sous-sol inférieure à 500 kW,
- une température en entrée d'échangeur comprise entre -3°C et 40 °C.

Le fluide en sortie de Power Road étant au plus de l'ordre de 40°C, le stockage de chaleur dans le sous-sol est donc envisageable en France dans le cadre règlementaire simplifié de la Géothermie de Minime Importance (GMI).

3 Méthode de mise en œuvre

3.1 Principe de mise en œuvre des tubes dans la chaussée

Deux procédés de mise en œuvre d'une chaussée Power Road ont été mis au point pour s'adapter aux surfaces de voiries à équiper : par indentation et par rainurage.

1. **Le procédé par indentation** permet d'insérer l'échangeur dans un atelier classique de mise en œuvre des couches concernées.

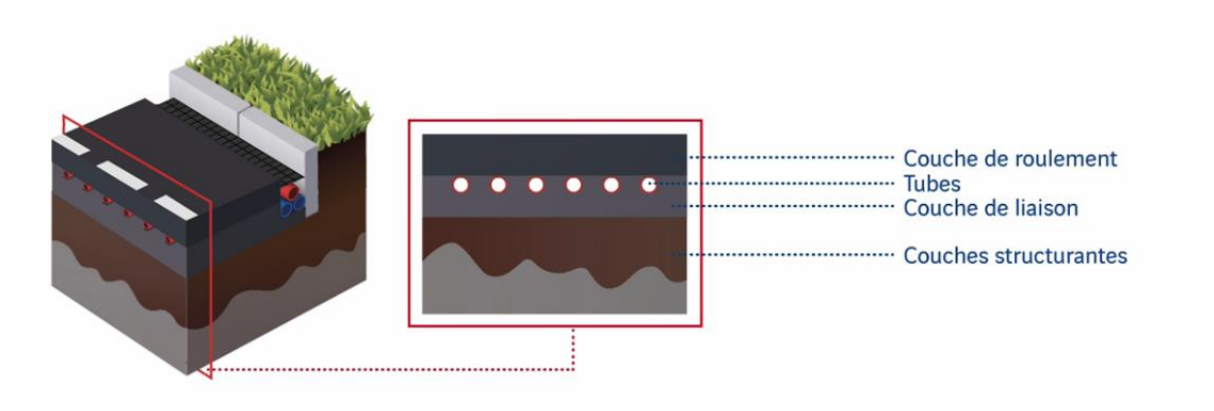


Figure 2 : Dispositif constructif : Procédé par indentation.
La couche de roulement correspond à la profondeur des tubes (5 à 8 cm suivant le type de trafic routier).

Il consiste en une mise en œuvre à chaud avec des éléments préfabriqués de l'échangeur (tubes), simultanément au compactage des enrobés (pose entre le passage des finisseurs et celui des compacteurs). L'échangeur est intégré dans la couche de liaison lors de sa mise en œuvre.

Cette méthode est particulièrement adaptée aux voiries linéaires (routes, rues, voies de circulations).

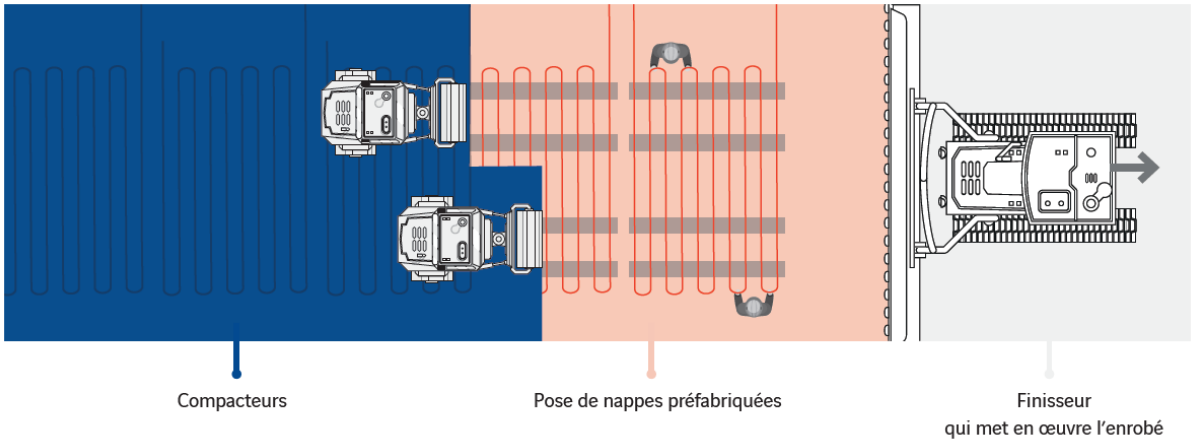


Figure 3 : Pose des nappes par indentation en une étape

a/Saint-Arnoult

b/Egletons

Figure 4 : Mise en œuvre de Power Road par indentation.

2. **Le procédé par rainurage** de la chaussée avant pose de l'échangeur.

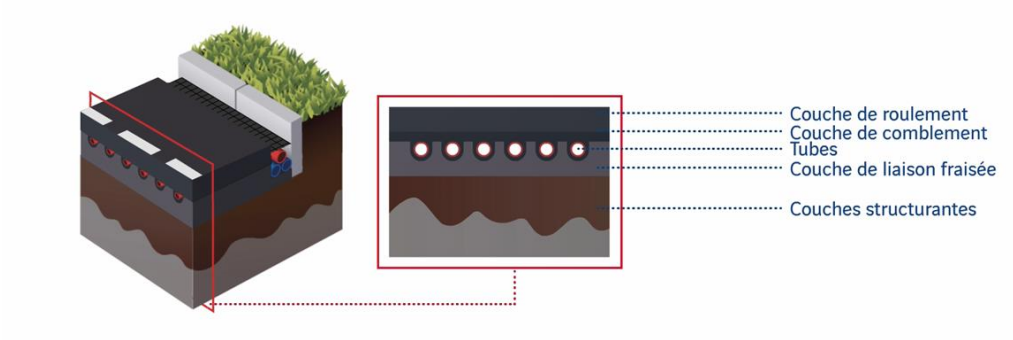
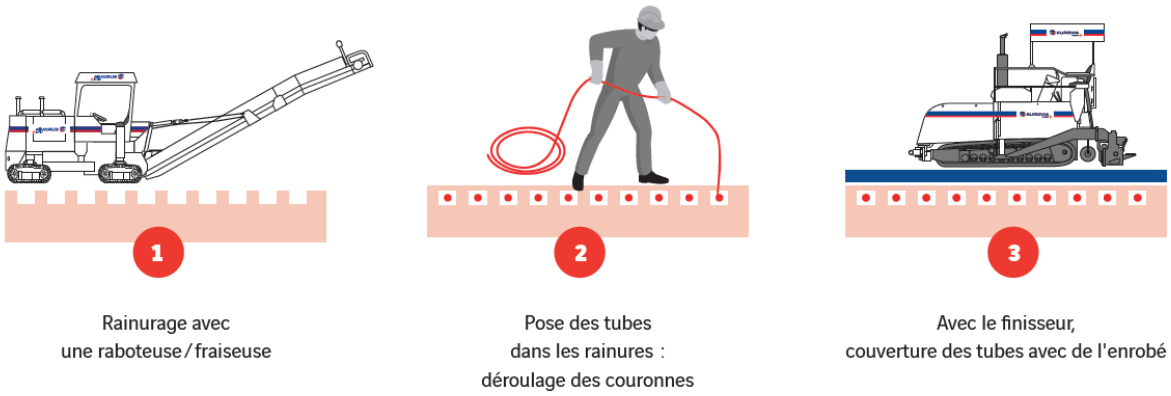


Figure 5 : Dispositif constructif : Procédé par rainurage.

Il consiste à réaliser un rainurage de la couche de liaison via une fraiseuse spécifique puis à la pose de l'échangeur (tubes) avant mise en œuvre d'une couche de comblement puis de la couche de roulement.

Cette méthode est particulièrement adaptée aux parkings et aux chaussées en rénovation (rainurage de la couche de roulement existante et non dégradée).



a/ Pontarlier	b/ Fleury-sur-Orne

Figure 6 : Mise en œuvre de Power Road par rainurage.
Les couches de roulement et de comblement correspondent à la profondeur des tubes (5 à 8 cm suivant le type de trafic routier).

La mise en œuvre des enrobés et des tubes est réalisée par les équipes travaux d'Eurovia sous contrôle de la Direction Technique et Expertise d'Eurovia (DTE) :

- La DTE rédige en amont du chantier une check-list, comme pour un chantier classique, avec les spécificités de Power Road détaillées dans un guide conception et réalisation interne à Eurovia. La check-list est établie avec le conducteur travaux : spécification de fabrication des enrobés, mise en œuvre des enrobés (température et méthode de compactage) et points particuliers.
- Une formation des équipes travaux (conducteur travaux, chef de chantier, ouvriers) est réalisée en amont pour une bonne appropriation des méthodes (pose des tubes, épaisseur des couches d'enrobés, compactage des enrobés).
- La mise en œuvre est contrôlée par la DTE (respect des règles de mise en œuvre, contrôle de la température et du compactage des enrobés)

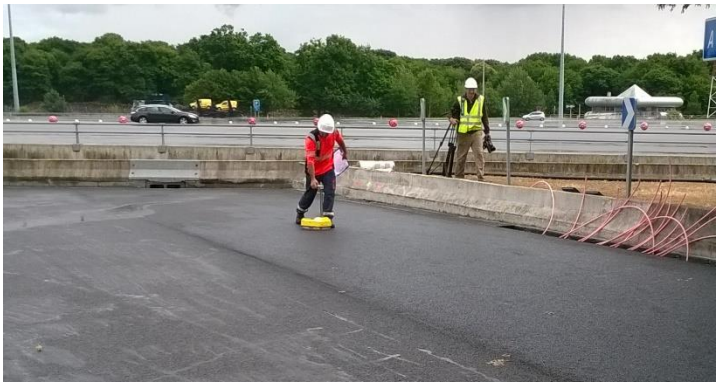


Figure 7 : Contrôle de la compacité après mise en œuvre de la couche de roulement.

3.2 Principes de raccordement

Plusieurs méthodes de raccordement aux canalisations provenant du local technique ou de la chaufferie, habituelles et connues, sont possibles : le raccordement sur nourrice en regard visitable, le raccordement en tranchée hors voirie ou en caniveau technique avec boucle de Tickelman.

Généralement, un regard visitable permet d'installer un collecteur 8 circuits (12 maximum) ; il permet donc de couvrir 120 à 160 m² de chaussée équipée de Power Road®. Les regards peuvent être installés en espace vert, sous la voirie ou sous le trottoir.

Les techniques habituelles de purge et d'équilibrage de réseaux sont appliquées : le collecteur est équipé de purgeurs manuels, de robinets de vidange et de vanne de réglage des débits. L'usage de tubes Multibéton associé à des collecteurs de même marque rend possible une implantation du collecteur en dessous des tubes (exclusivité du fabriquant Multibéton décrite dans le guide technique du tube).

Figure 8 : Raccordement en regard visitable

Figure 9 : connexion en caniveau technique

3.3 Définition des matériaux utilisés

3.3.1 Enrobés bitumineux

Les matériaux utilisés pour la constitution des enrobés bitumineux nécessaires à l'installation de l'échangeur Power Road®, granulats et bitumes, sont conformes aux normes en vigueur dans la profession.

La température de mise en œuvre de l'enrobé doit être strictement inférieure à 140°C afin de protéger les tubes en polypropylène. Afin de faciliter la maniabilité de l'enrobé lors de sa mise en œuvre, équivalent à un enrobé tiède, un additif à base d'huile de ricin hydrogénée (régulièrement utilisé par la profession) est injecté lors du malaxage de l'enrobé.

Figure 10 : Atelier de mise en œuvre d'un enrobé sur un chantier Power Road, les mêmes engins que sur un chantier classique.

3.3.2 Tubes

L'échangeur est réalisé avec des tubes en polypropylène de marque MULTIBETON posé à chaud. Les tubes ont généralement un diamètre extérieur de 17 mm et une épaisseur de peau de 2,2 mm.

Référence MULTIBETON : MBTU172, Tube rose original 17 x 2.2 (200 ml)

Le choix de tube a été validé par des essais internes à Eurovia :

- Mesure de la température de fusion du PP par un essai DSC afin de préserver l'intégrité du tube lors de la mise en œuvre dans des enrobés tièdes (température des enrobés < température de fusion du PP)
- Essai en laboratoire pour analyser visuellement les éventuelles déformations des tubes sous compactage de l'enrobé
- Essai à l'échelle du chantier sur la dilatation et le retrait des tubes suite à l'échauffement par l'enrobé mis en œuvre en couverture. Ce phénomène est minimisé par la mise sous circulation d'eau tempérée du réseau de tube lors de la mise en œuvre.

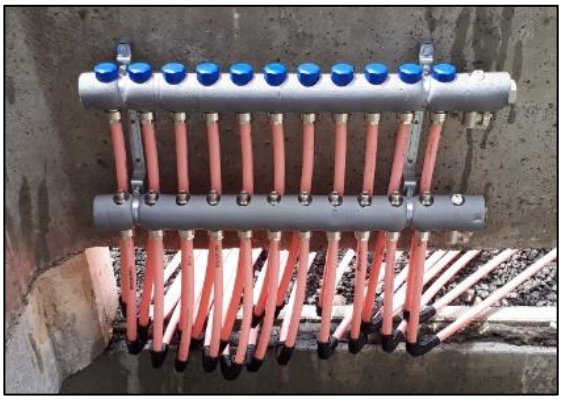
3.3.3 Raccordement en regard

Collecteurs MULTIBETON

Dans le cas d'un raccordement en regard visitable, les boucles de tubes sont reliées entre elles à l'aide d'un collecteur en acier inox puis raccordées aux canalisations enterrées. Les tubes sont raccordés sur le collecteur avec les raccords à compression Multibéton.

Deux collecteurs sont nécessaires – un pour le réseau aller et un pour le réseau retour. Une mousse isolante permet de les calorifuger. Chaque collecteur peut accueillir de 2 à 12 circuits.

a/ Chantier de Feurs



b/ Chantier de Fleury

Figure 11 : Raccordement des boucles Power Road dans des regards.

3.3.4 Fluide caloporteur

Les fluides caloporteurs utilisées dans les installations d'eau chaude sanitaire sont régis par l'arrêté du 14 janvier 2019 relatif aux conditions de mise sur le marché des produits introduits dans les installations utilisées pour le traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine.
Le fluide circulant dans les tubes est de l'eau glycolée de qualité alimentaire : le mono-Propylène Glycol (MPG). L'utilisation de ce fluide, en lieu et place de l'eau, permet d'assurer la protection au gel du dispositif. Le taux de glycol est généralement compris entre 10 et 30% ; le taux peut être augmenté en fonction de la rigueur climatique du projet. Un réfractomètre à glycol permet de mesurer le point de congélation du fluide caloporteur à la réception de l'installation et à minima une fois par an lors de la maintenance de l'installation.
Les fuites potentielles sont surveillées grâce à la présence d'un pressostat dans le local technique avec remontée d'alarme. Un réseau de collecte du glycol est prévu dans le local technique ou à proximité en cas d'incident (récupération des évacuations des purges du circuit glycol).
Si une fuite devait se produire, l'impact sur l'environnement est limité puisque le glycol choisi est rapidement biodégradable. Une déclaration auprès des services de l'état pourrait être nécessaire dans certaines circonstances (volume important, présence d'un cours d'eau, …).

3.4 Procédés de mise en œuvre et contrôles

Les enrobés bitumineux sont fabriqués, mis en œuvre et contrôlés en suivant la norme en vigueur *NF P95-150-1 – Enrobés hydrocarbonés – Exécution des assises de chaussées, couches de liaison et couches de roulement.* Une attention particulière est portée à certains paramètres spécifiques aux projets Power Road® pour garantir l'intégrité du tube (Cf. § 3.3.1) :

- La formulation des enrobés, notamment l'additivation des enrobés spécifiques au procédé qui facilite l'intégration des tubes dans l'enrobé.
- Les températures de production et d'application de l'enrobé pour la protection du tube : la température d'application doit être inférieure à la température de fusion du polymère constituant le tube mais également pour limiter les effets de dilatation du tube (la température de mise en œuvre est de 130°C maximum pour un coefficient de dilatation du polypropylène : $160 \cdot 10^{-6}$ m/K à 23°C).

L'abaissement des températures de la couche de roulement contribue à limiter les effets de dilatation du tube intégré dans l'enrobé ; cet effet est renforcé en faisant circuler de l'eau à température de 15°C/20°C dans les tubes durant la phase d'enrobage (raccordement au réseau d'eau de ville, pression à minima celle de l'eau de ville en continu).

Afin de valider la mise en œuvre et l'intégrité des tubes, des tests d'étanchéité sont réalisés avant l'enrobage du tube (pendant le chantier, sous le contrôle du conducteur travaux Eurovia par les équipes Eurovia ou par un sous-traitant qualifié) : les tubes sont éprouvés à une pression correspondant à au moins 2 fois la pression de service, avec un minimum de 6 bars, à l'instar de ce qu'exige la *NF DTU 65.14 P1 et P2*. Il dure au minimum deux heures après la stabilisation de l'indication du manomètre.

Après vérification de l'étanchéité de l'installation, le réseau peut être chargé en glycol suivant les règles d'usage.

3.5 Régulation et contraintes de fonctionnement

Plusieurs stratégies de régulation peuvent être mise en œuvre pour maximiser la quantité d'énergie captée et limiter les consommations électriques du circulateur :

- Le débit de circulation est constant sur le point optimum du circulateur (soit un taux de charge de 30% pour limiter les consommations électriques), généralement lorsque les conditions météorologiques sont le moins favorable.
- Le débit du circulateur est régulé pour travailler avec un ΔT constant entre l'entrée et la sortie de Power Road, généralement quand l'ensoleillement et la température extérieure sont élevés.

En phase d'exploitation d'une installation géothermique de minime importance, la température du fluide caloporteur qui retourne vers les échangeurs géothermiques fermés doit être comprise entre –3°C et + 40°C (Arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance).

Pour se conformer à cette règlementation, la température en entrée du champ de sondes est mesurée et deux approches permettent de respecter le critère d'injection de fluide à une température inférieure à 40°C :

- La température d'entrée du fluide dans le champ de sondes, soit celle en sortie de Power Road, peut être limitée en augmentant le débit dans le capteur solaire thermique ;
- La circulation du fluide peut être stoppée si elle dépasse les 40°C.

Le seuil minimum est un critère lié au fonctionnement de la PAC ; il est classiquement géré, comme une opération de géothermie sans recharge.

3.6 Instrumentation

La performance de Power Road est mesurée en installant dans le local technique un compteur d'énergie thermique (débit, température entrée et sortie) qui permet de quantifier l'énergie solaire thermique captée. Le compteur d'énergie doit être compatible avec le fluide caloporteur en circulation (il faut avoir la possibilité de régler le type de glycol et son taux de concentration). Dans le cas où Power Road peut produire et diffuser de la chaleur (extraction et injection de chaleur dans Power Road), le compteur devra mesurer l'énergie dans les deux sens. Le compteur est posé en prenant en compte les prescriptions du fabricant.

Par ailleurs, il peut être pertinent de mesurer la consommation électrique des circulateurs associés à Power Road soit via des compteurs électriques ou par calcul à partir de la puissance électrique transmise par les circulateurs, généralement en ModBus, à l'armoire de contrôle/commande.

3.7 Mise en service

La mise en service du procédé Power Road consiste, comme pour toute installation hydraulique :

- En une purge du réseau hydraulique : des dégazeurs sont installés sur les points hauts dans le local technique ;
- En l'équilibrage des réseaux pour homogénéiser les débits circulant dans les boucles du procédé.

Une attention particulière, comme pour un plancher chauffant, doit être porté à a bonne purge du réseau hydraulique : remplissage par boucle, remplissage lent pour évacuer l'air plus facilement, circulation lente du fluide à la mise en service. La purge peut être contrôlée par exemple par des images par caméra thermique ou par des mesures de température sur les tubes dans les regards.

La Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT), représentant les réseaux enterrés, doit reprendre les zones équipées de Power Road. Le plan de Power Road et de son raccordement est fourni dans le Dossier d'Ouvrage Exécuté (DOE). Il est affiché dans le local technique à la fin des travaux.

3.8 Entretien et réparation

La maintenance prévoit le contrôle du taux de glycol dans l'installation (protection au gel de l'installation) une fois par an. Le reste de la maintenance est liée à celle du local technique : nettoyage des filtres, contrôle de la pompe à chaleur, vérification des circulateurs, vérification des purges (même

méthodes de contrôle que pour la mise en service), contrôles électriques... Elle est prévue comme pour tout système de chauffage.

L'échangeur Power Road est un réseau de tubes dans la chaussée. Ce réseau est constitué d'un ensemble de boucles ; chaque boucle est raccordée à un collecteur et peut donc être isolée. En cas de défaillance d'une boucle ou de besoins d'intervention sous la boucle, celle-ci peut être réparée, remplacée ou condamnée. Dans le cas où la boucle doit être changée, il suffit de raboter la couche de roulement de la chaussée jusqu'aux échangeurs thermiques et de procéder au remplacement de la partie dysfonctionnelle.

La réfection de la couche de roulement peut être nécessaire au cours de la vie de l'ouvrage en fonction du trafic routier. Les tubes sont à une profondeur suffisante (5 à 8 cm) pour permettre le rabotage d'une couche d'enrobé avant la mise en œuvre d'une nouvelle couche de roulement.

3.9 Fin de vie

La conception de l'échangeur est optimisée pour limiter les éléments extérieurs à poser (c'est-à-dire les éléments autres que les tubes de l'échangeur et que le matériel conventionnel de chaussée). L'échangeur est constitué de polymères afin d'assurer une recyclabilité totale (pas d'éléments métalliques).

En fin de vie, le procédé peut être déconstruit avec des méthodes mécanisées traditionnelles. Les différents constituants du procédé peuvent ensuite être triés avec des méthodes mécanisées traditionnelles (criblage). Le procédé raboté (agrégats d'enrobés) est conforme au guide BTP suivant la norme NF EN 933-11 et peut être utilisé en l'état.

Le fluide caloporteur est constitué d'eau et de Mono-Propylène Glycol (MPG). En fin de vie, ce fluide va devenir un déchet classé sous le n°160114 ou 160115 de la Nomenclature Européenne. Même s'il est issu d'un fluide de qualité sanitaire, cet antigel est classé comme DIS (déchets industriels spéciaux) et doit être collecté par un organisme agréé. Une fois collecté, l'antigel subit un traitement de régénération par filtration. On recycle 60% du fluide pour créer un antigel neuf. Le reste va être orienté vers des incinérateurs.

4 Formation

4.1 Démarche

Les méthodes de mise en œuvre du procédé sont décrites dans des guides de conception et des retours d'expériences sont réalisés après les chantiers pour mettre à jour cette documentation. La mise en œuvre du procédé est assurée par des entreprises EUROVIA formées pour la mise en œuvre du procédé :

- En amont du chantier : formation du conducteur de travaux et/ou chef de chantier en charge du chantier ;

- En proximité du chantier : formation des opérateurs (photos, vidéos, points de d'attentions).

Les équipes travaux sont également accompagnées de la conception à la réalisation des travaux par des référents techniques :

- En phase conception, le bureau d'étude de l'agence Eurovia réalise les plans d'implantation et de raccordement du procédé. Ces éléments et le choix des équipements sont vérifiés par le référent technique ;

- En phase préparation travaux, comme pour chaque chantier Eurovia, une check-list des points marquants et des points de vigilance du chantier est réalisée avec les différentes parties prenantes (chef d'agence, responsable du bureau d'équipe, conducteur travaux, direction Technique et expertise) ;

- En phase travaux, un référent technique est présent sur le chantier pour accompagner les équipes travaux dans la mise en œuvre du procédé.

4.2 Supports de formation

Un document de référence : le guide de conception et de nombreux visuels (films et photos) pour visualiser toutes les étapes de la mise en œuvre de Power Road.

Guide de conception d'un chantier POWER ROAD®

Méthode de pose par rainurage – Partie chaussée et bord de voie

POWER ROAD® est un produit en développement. Ce document constitue un premier retour d'expérience sur les planches d'essais et les 2 chantiers réalisés à l'été 2017.

Ce document rassemble des éléments nécessaires à la prise d'affaire et ceux pour la réalisation d'un chantier.

Contenu

ORDONNANCEMENT D'UNE AFFAIRE ET DES ETUDES ASSOCIEES 3
Prospection 3
Profil des prospects 3
Présentation du concept 3
Exemples : 4
Ordonnancement d'une étude énergétique 5
Phase 1 - Préfaisabilité 5
Phase 2 - Faisabilité 5
Phase 3 – Conception – Suivi d'exécution 5
Organisation des travaux d'un projet POWER ROAD® 6
METHODE DE POSE - DESCRIPTIF 7
Liste des étapes de mise en œuvre dans la chaussée 7
Etape 1 : Préparation de la couche support 7
Rabotage 7
Balayage 8
Etape 2 : Pose des tubes à chaud 9
Etape 3 : Raccordement en bord de voie 9
Etape 4 : Comblement des rainures et des bandes de fraisage 11
Etape 5 : Mise en œuvre de la couche de roulement 11
Etape 6 : Instrumentation 12

NON CONFIDENTIEL

a/ Un guide de conception à usage interne : les bonnes pratiques

b/ De nombreux visuels pour illustrer toutes les étapes de la mise en œuvre de Power Road

Figure 12 : Les ressources pour la formation des équipes travaux.

Et des supports dédiés pour des points spécifiques : Exemple – Les raccordements en bord de voie

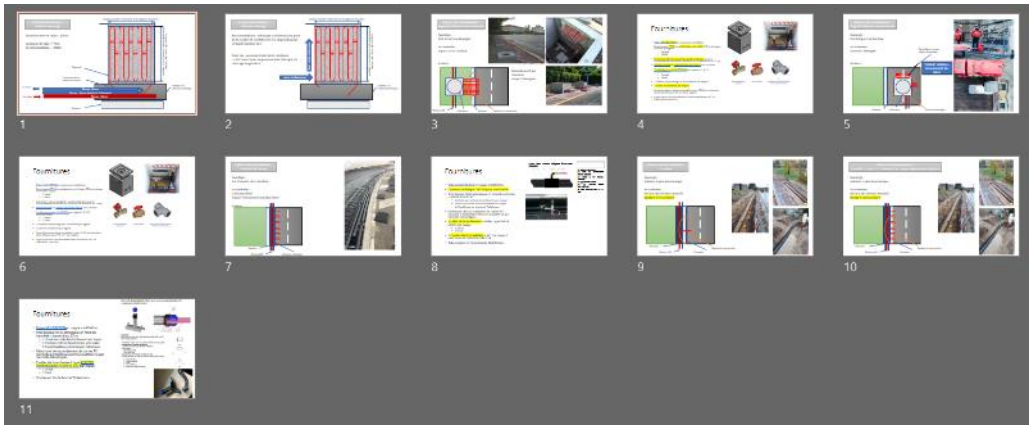


Figure 13 : Formation sur les raccordements en bord de voie.

5 Dimensionnement

5.1 Dimensionnement mécanique du procédé

Le dimensionnement de la chaussée accueillant l'échange thermique se fait de manière conventionnelle selon la norme *NF P 98-086 -Dimensionnement structurel des chaussées routières – Application aux chaussées neuves.*

La structure d'une chaussée Power Road® ne nécessite pas de dimensionnement spécifique : un essai FABAC (simulateurs-accélérateurs linéaires de trafic lourd permettant d'éprouver une chaussée à échelle réelle) a permis de vérifier que la présence de tubes dans l'enrobé n'impactait pas la durabilité de la chaussée. Ces essais ont été réalisés par l'Université Gustave Eiffel.

La couche de roulement, qui constitue la couche d'usure, a les mêmes caractéristiques qu'une chaussée classique en termes d'adhérence et de recyclage.

5.2 Dimensionnement énergétique

5.2.1 Installation géothermique avec recharge du champ de sondes

L'installation est dimensionnée pour répondre aux besoins de chaleur d'un bâtiment (chauffage et/ou Eau Chaude Sanitaire). Le dimensionnement de l'installation énergétique est réalisé par un bureau d'études thermique certifié OPQiBi (Qualification 1007, Etude des ressources géothermiques ou qualification 2013, Ingénierie des installations de production utilisant l'énergie géothermique) afin d'établir, dans le cas d'un couplage avec la géothermie :

- La puissance de la pompe à chaleur géothermique ;
- Le linéaire de forages géothermiques ;
- La surface de Power Road pour assurer la recharge du sous-sol.

Ce dimensionnement dépend du contexte géologique et hydrogéologique du projet, des caractéristiques thermiques du sous-sol pour une exploitation géothermique, des besoins thermiques du bâtiment et de ses émetteurs (régime de température) et éventuellement des résultats du test de réponse thermique.

Les modèles de recharge de champ de sondes sont classiquement exploités par les bureaux d'études lorsqu'ils étudient des bâtiments avec des besoins de chaud et de froid qui vont décharger puis recharger le champ de sondes, permettant un lissage saisonnier de la production. La seule différence de dimensionnement, dans le cas de l'intégration du procédé, est d'utiliser un modèle conceptuel d'injection d'énergie par Power Road (au lieu de la climatisation en été) : l'énergie captée par Power Road est calculée en fonction des températures du sous-sol et des conditions météorologiques. Cette énergie est calculée par un modèle développé par Eurovia (Cf. § 5.2.2). Les données sont fournies au bureau d'études sous forme d'abaques ; il est prévu à terme de coupler informatiquement les modèles (développements informatiques plus élaborés en cours de développement suivant les capacités des bureaux d'études).

Le dimensionnement doit respecter les critères réglementaires : les températures en entrée et sortie, conformément à la règlementation de la géothermie de minime importance en vigueur, sont comprises entre -3°C et 40°C).

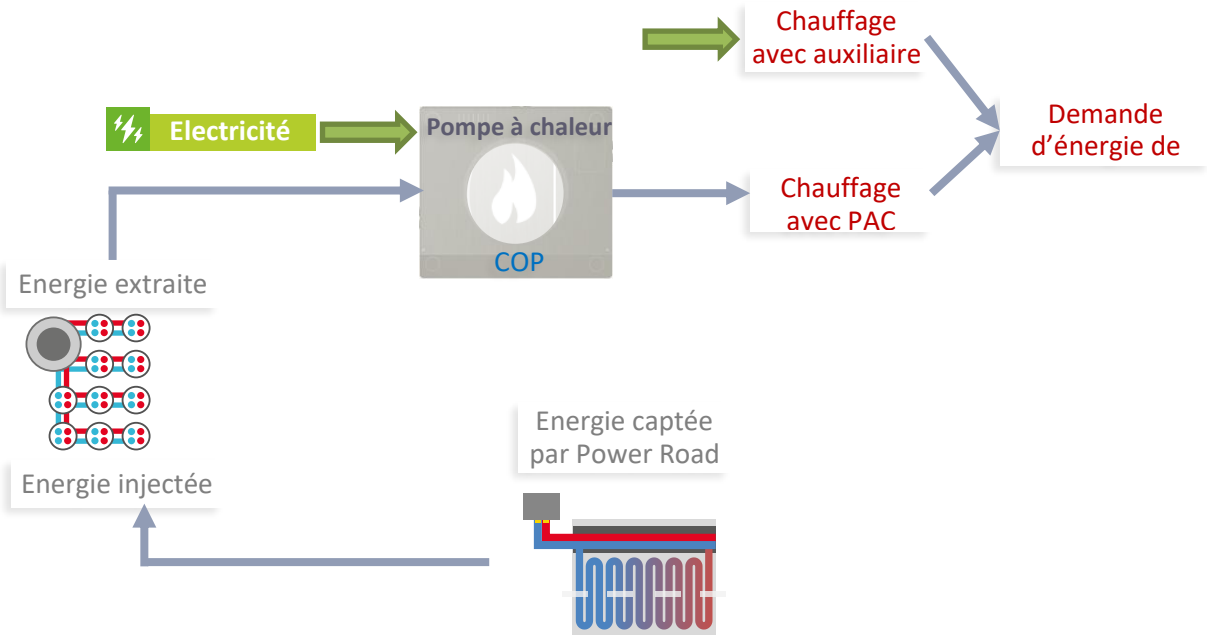


Figure 14 : Principe énergétique : les échanges entre les différents systèmes.

5.2.2 Performances de captage solaire thermique du capteur Power Road

La modélisation du comportement énergétique de Power Road a nécessité le développement d'un modèle spécifique pour prendre en compte l'inertie de la route. Ce modèle a été développé et validé par le CEA Tech pour répondre aux besoins d'ingénierie (plusieurs versions du modèle ont été établies).

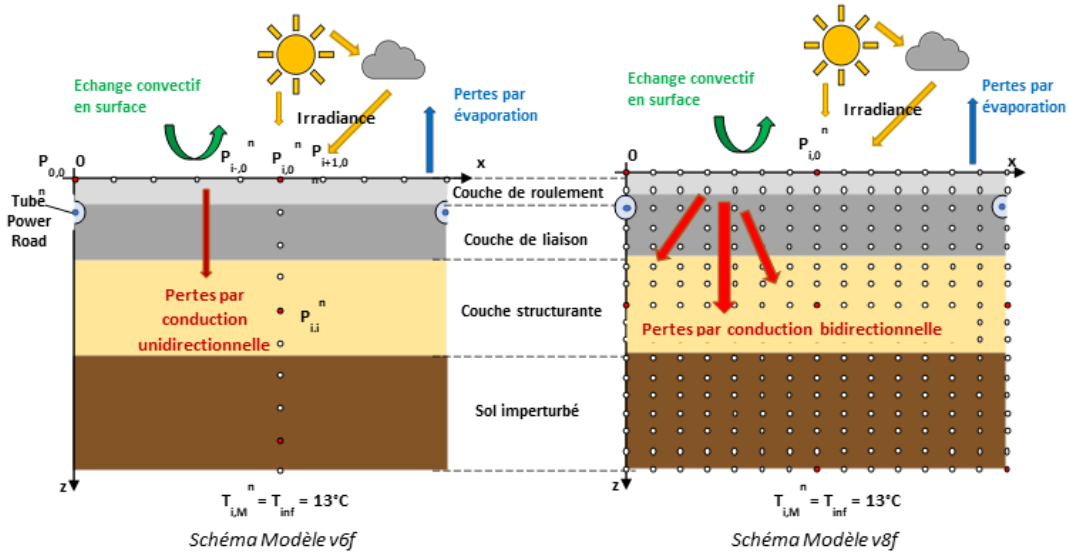


Figure 15 : Modèle numérique développés par le CEA Tech (versions v6f et v8f).

L'énergie captée est estimée pour des paramètres constructifs donnés (longueur de tubes, débit du fluide, température en entrée du capteur) à partir des données météorologiques du site étudié.

Les principales conditions climatiques prises en compte par le modèle pour estimer le captage sont :

- L'irradiation Globale Horizontale (IGH) : Energie solaire reçue (Er) à la surface de la terre en tenant compte des phénomènes météorologiques (en kWh) ;
- La température de l'air ambiant (en °C) ;
- La présence de vent (en m/s).
- La présence de pluie (mm) et d'humidité (humidité relative en %).

Les conditions météorologiques sont disponibles sous la base de données SodaPro (http://www.soda-pro.com/). Pour chaque site, on détermine une année de référence climatique : l'année climatique de référence est définie pour être représentative d'une année moyenne sur laquelle l'étude sera menée.

Au cours de l'année, la température du stockage fluctue suivant les phases de charge / décharge du sous-sol. La température du fluide en entrée de Power Road® correspondant à la température dans le stockage géothermique (champ de sondes géothermiques verticales, SGV), elle fluctue elle aussi. Les simulations doivent prendre en compte cette dynamique pour connaitre le niveau de captage de Power Road à chaque instant : les bureaux d'études utilisent les abaques fournis par Eurovia pour calculer l'apport de Power Road en fonction du comportement du champ de sondes. Cette méthode permet de dimensionner l'installation de production de chaleur (le linéaire de forage et la puissance de la pompe à chaleur).

Pour un principe constructif donné, le point de fonctionnement de Power Road® est défini par la température d'entrée du fluide Tin (°C) et son débit Q (en kg/h). La température en entrée de Power Road® dépend de la température dans le stockage géothermique (champ de sondes géothermiques verticales, SGV). Le champ de SGV voit sa température fluctuer au cours de l'année, la température du fluide que Power Road® réchauffe également. Les simulations peuvent être réalisées pour différents points de fonctionnement pour répondre aux demandes des bureaux d'études qui dimensionnent l'installation de production de chaleur (géothermie assistée par pompe à chaleur).

5.2.3 Dimensionnement des surfaces et du raccordement à l'installation

Le niveau d'énergie à capter par Power Road est donc défini par le dimensionnement énergétique de l'installation réalisé par le bureau d'études. Les surfaces de Power Road nécessaires sont alors déduites de ce dimensionnement selon le principe suivant :

- Les données d'entrée sont les besoins énergétiques du bâtiment (puissance, énergie au pas horaire) ;
- Les quantités d'énergie à produite par la PAC en sont déduites ;
- les quantités d'énergie à extraire et donc à injecter du champ de sondes en fonction notamment du COP de la PAC sont alors calculées ;

- finalement, cela permet de déterminer les surfaces en m² de chaussée à équiper par Power Road® qui tiennent compte principalement de la météo locale (commune du projet étudié) et du rendement énergétique calculé par le modèle (abaque).

Les performances de captage tiennent compte de la présence éventuelle d'ombrage sur le site (masques lointains ou proches, stationnement de véhicules). De manière évidente, les surfaces de voiries équipées doivent être principalement installées dans des zones ensoleillées et sur les voies de circulation. Le cas échéant, les surfaces peuvent être majorées (10 à 30% généralement).

D'un point de vue hydraulique, les diamètres des raccordements sont calculés classiquement par le bureau d'études en fonction du débit par nappe et du nombre de nappes. Le calepinage est optimisé pour obtenir des longueurs de nappes équivalentes pour faciliter l'équilibrage du réseau.

6 Fonctionnement et contrôle/commande associé

Le fonctionnement de l'installation est suivi grâce à une interface de contrôle/commande qui peut être accessible à distance. Les équipements de supervision permettent alors :

- d'assurer un suivi et contrôle de l'ensemble des échanges énergétiques entre les différents dispositifs (stockage géothermique / Ballon de stockage / Power Road® / Bâtiment) ainsi que la production d'énergie par la PAC pour chaque mode de fonctionnement.
- de récupérer et stocker l'ensemble des données provenant des organes instrumentés.
- d'interagir à distance sur la régulation et les différents modes de fonctionnement de l'installation.

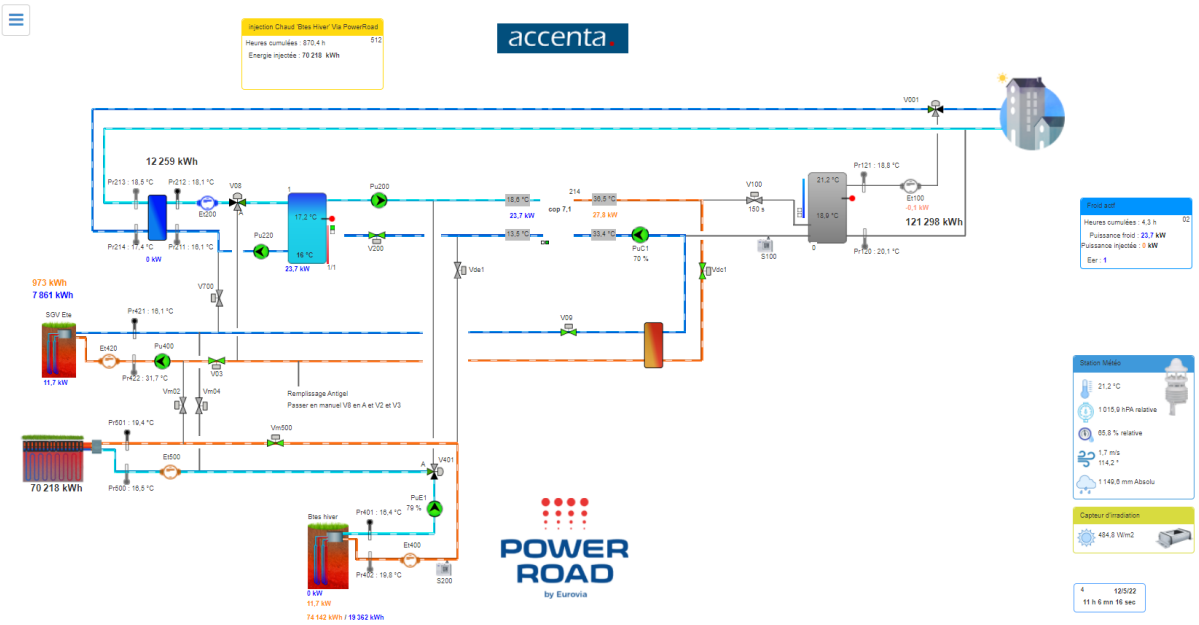


Figure 16 : Exemple d'interface de suivi de l'installation (logiciel Respilot, Accenta) : visualisation des modes de régulation actifs (climatisation du bâtiment, recharge du champ de sondes)

Pour la conduite d'opération, l'interface peut permettre le contrôle du fonctionnement sur alertes de l'état des équipements techniques, faciliter le diagnostic en cas de panne et réaliser des télé-interventions.

Pour le suivi des performances de la production de chaleur par les PAC et de captage de Power Road, l'installation est équipée de compteurs d'énergie thermique, de compteurs électriques et de capteurs de température. Le plan d'instrumentation est conforme aux recommandations du CSTB et de l'Ademe pour le suivi des opérations de géothermies sur sondes. Plusieurs solutions de reporting peuvent être proposées : reporting en temps réel, rapports mensuels, rapports annuels.

7 Liste de chantiers références

7.1 Chauffage de logements sociaux à Fleury-sur-Orne, Calvados

En janvier 2018, à l'occasion du chantier de rénovation thermique d'une résidence de 61 logements située avenue du 19 mars 1962, à Fleury-sur-Orne, dans le Calvados, Inolya, premier bailleur social du département, a choisi le procédé Power Road®, pour couvrir 75% des besoins d'énergie nécessaires au chauffage et à l'eau chaude sanitaire (ECS) de quatre des cinq bâtiments que compte la résidence.

Pour y parvenir, les équipes de l'agence de Caen d'Eurovia ont équipé du système Power Road® la moitié (1 420 m² sur 3 000 m² au total) des enrobés mis en oeuvre pour la réfection/extension du parking résident. Le principe de fonctionnement est ensuite simple : après avoir capté l'énergie thermique du soleil, le fluide caloporteur est transféré à 140 m de profondeur par 12 sondes géothermiques verticales qui permettent de capter et stocker la chaleur en sous-sol. Deux pompes à chaleur récupèrent alors autant de calories que nécessaire pour les répartir dans les logements suivant les besoins, le dispositif étant complété d'une chaudière gaz d'appoint.

7.2 Centre Technique routier d'Olonzac, Hérault

En 2018, le département de l'Hérault a fait appel à Eurovia pour intégrer Power Road® à sa nouvelle agence technique, située à Olonzac, agence vitrine de la transition écologique et énergétique. Le bâtiment qui, outre le siège de l'agence, abrite un centre d'exploitation routier et une unité de

forestiers-sapeurs chargée de la Défense de la Forêt Contre les Incendies (DFCI), a ainsi été conçu comme un bâtiment à énergie positive (Bepos).

Dans ce cadre, le département a choisi la géothermie pour assurer la totalité des besoins de chauffage (21 MWh/ an) et de climatisation (2,4 MWh/an) pour 720 m² de surface de bureaux et d'atelier. C'est pour « booster » le système géothermique que le département a décidé de recourir à Power Road®.

7.3 Préchauffage des bassins de la piscine de Feurs, Loire

Profitant de la réfection complète du parking du cinéma situé à proximité de la piscine de Feurs dans la Loire, Eurovia lui a ajouté une fonctionnalité nouvelle grâce à Power Road®. Dorénavant, Forez Aquatic, la piscine gérée par la communauté de communes de Forez-Est, recourt en partie à l'énergie solaire thermique pour le système de chauffage de l'eau de ses bassins.

La piscine de Feurs fonctionne l'été avec un grand bassin extérieur de 50 m de long et un bassin extérieur d'apprentissage à une température de 28°. L'intégration de Power Road® sur 750 m² de parking du cinéma adjacent permet de contribuer au préchauffage de l'eau de renouvellement des bassins.

7.4 Pilote D1 à Saint-Arnoult-en-Yvelines, Yvelines

En juillet 2017, Eurovia a installé Power Road sur 500 m² de voie d'accès au parking poids lourds de la gare de péage de l'autoroute A10 à Saint-Arnoult-en-Yvelines (78) sur le réseau Cofiroute (VINCI Autoroutes). Ce projet à Saint-Arnoult a été dimensionné pour deux usages de chaleur, l'énergie produite permettant d'une part le déneigement/déverglaçage de la chaussée en hiver et d'autre part, le chauffage de l'Espace clients Ulys d'une surface de 370 m², en lieu et place d'une chaudière fioul.

Le chauffage du bâtiment est alimenté grâce au stockage inter-saisonnier d'énergie, constitué d'un champ de 20 sondes géothermiques verticales de 80 mètres de profondeur, installé sous le parking destiné aux collaborateurs. La production de chaleur est assurée par une pompe à chaleur géothermique de 108 kW, installée dans un local technique.

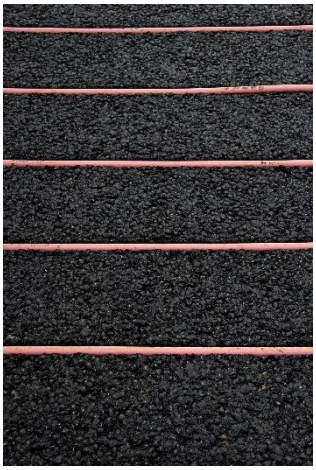
7.5 Déneigement du parking Place Becquerel à Pontarlier, Doubs

Dans le cadre de la rénovation globale de la place Becquerel de la ville de Pontarlier (25), Vermot TP (filiale d'Eurovia) a installé Power Road® en août 2017 pour déneiger et dégivrer le parking du lycée Xavier Marmier (situé sur la place Becquerel), le quai de bus et certains trottoirs en période hivernale.

La mise en place de la chaussée permet depuis au parking du lycée (4 400 m² dont 3 500 m² équipés) de s'auto-déneiger pour sécuriser les déplacements des véhicules (voitures particulières et bus scolaires) et ceux des piétons. La source d'énergie de cette solution provient du réseau de chaleur de Pontarlier, lui-même alimenté par l'unité de valorisation énergétique des déchets (Valopôle).

7.6 Déverglaçage d'une route à Egletons, Corrèze

Ce projet Power Road® s'inscrit dans la réalisation de routes innovantes dites de 5e génération sur les voies au cœur des sites universitaires et scolaires des métiers des travaux publics (IUT, EATP et lycée) d'Egletons. Il permet de rendre la rue Martial Bergeal déverglaçante sur 120 m de long grâce au raccordement au réseau de chaleur de la ville. Le chantier a été réalisé fin 2019.



ANNEXE : Recueil de justificatifs du dossier de demande

A Suivi de la mise en œuvre et performance mécanique

A.1 Mise au point de la méthode de pose (échelle du laboratoire)

Les études par éléments finis menées en 2016 ont conclu que la réalisation d'un écran Power Road® ne modifie pas le comportement mécanique de l'infrastructure et que l'ingénieur peut continuer à employer ses méthodes habituelles de dimensionnement.

[1] *Etude EF de l'impact d'un écran de surface géothermique sur les éléments dimensionnants de la chaussée, Rapport 16/149, 06/09/2016, EUROVIA MANAGEMENT, Centre de Recherche de Mérignac (CRM).*

Une étude de laboratoire a permis de caler la formule des enrobés afin de permettre l'indentation des tubes tout en assurant un bon contact thermique et une bonne résistance au trafic évalué au travers notamment de l'essai d'orniérage.

[2] Novatherm®, Développement d'une formule d'enrobé répondant au cahier des charges Novatherm®, rapport 17-084, 10/05/2017, EUROVIA MANAGEMENT, Centre de Recherche de Mérignac (CRM)

Des essais de poinçonnement sur des éprouvettes ont montré que quel que soit la température d'essai, l'impact de l'intégration des tubes sur le risque de poinçonnement est non significatif à faible, notamment dans les conditions décrites dans le règlement de sécurité des ERP.

[3] Power Road pour les Chaussées Aéroportuaires, Mémoire de Projet de Fin d'Etudes d'Ilyass El Omari, INSA, 2021

A.2 Validation des méthodes de pose (échelle chantier)

Plusieurs planches expérimentales ont été réalisées avant de déployer les méthodes de pose à l'échelle du chantier (planches d'essais au Centre de Recherche de Mérignac, planches d'essais à l'agence travaux des Mureaux en prévision du premier chantier). Les différentes méthodes de pose validées lors des planches d'essai ont été testées dans le cadre du chantier D1 à Saint-Arnoult-en-Yvelines. **La méthode de pose par rainurage a ensuite été validée sur un chantier de grande envergure (3 500 m²)** à Pontarlier.

[4] Chantier expérimental D1 – Saint-Arnoult : Bilan de la mise en œuvre de l'écran Novatherm® , rapport 17-216, 18/12/2016, EUROVIA MANAGEMENT, Centre de Recherche de Mérignac (CRM).

[5] Chantier de Pontarlier – REX Technique par rainurage, compte-rendu du 01/09/2017, EUROVIA MANAGEMENT, Direction Technique (DT).

La méthode de pose par indentation a fait l'objet d'optimisation lors du chantier de création d'une voirie de 5e génération Rue Martial Bergeal à Egletons (planche d'essai réalisée en septembre 2019 au droit du site). **Cette planche d'essai a permis d'optimiser la méthode de pose par indentation et de valider sa maturité pour déploiement.**

[6] Retour d'expérience de la planche d'essai POWER ROAD® réalisée en amont du chantier de la rue Martial Bergeal, Egletons, rapport du 01/09/2019, EUROVIA MANAGEMENT, Direction Technique (DT).

A.3 Performance mécanique (échelle chantier)

La tenue au trafic de Power Road® a été validé par l'Université Gustave Eiffel : leur machine FABAC permet de simuler en accéléré un trafic poids lourd sur 2 planches tests de chaussée innovante POWER ROAD®, construites sur le site du démonstrateur D1, à proximité du péage de Saint-Arnoult, sur l'autoroute A10.

Aucune fissure en lien avec la présence de tubes introduits dans la chaussée suivant le procédé n'a été observée ; aucune déformation permanente en lien avec la présence de tubes dans la chaussée n'a été également constatée.

[7] Essai FABAC sur chaussée innovante Power Road, Suivi des planches et relevés de dégradations, rapport XQ2-F17646, 09/04/2019, Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de L'aménagement et des Réseaux (Université Gustave Eiffel).

A.4 Suivi des chantiers

Les différents chantiers font l'objet d'un retour d'expérience sur la mise en œuvre et d'un suivi visuel régulier du comportement des enrobés.

Exemple : Le chantier de Feurs

Une check-list est réalisée en amont du chantier avec les parties prenantes (Agence travaux, Direction Technique et Expertise, Direction Technique et Recherche). Le suivi de la tenue mécanique du capteur Power Road dans le temps est réalisé par des visites des opérationnels (agence, DTE). Sur le parking, aucun défaut important n'a été relevé. Les photos correspondantes ont été archivées.

[8] Rapport : POWER ROAD - Aquatic Forez – FEURS, Revue Technique – Check-list du 13/05/2019, DTE Centre-Est.

[9] Rapport : POWER ROAD - Aquatic Forez – FEURS, Retour d'expérience du 13/05/2019, DTE Centre-Est.

A.5 Bilan

Les résultats expérimentaux de l'échelle du laboratoire aux relevés sur chantier ainsi que les résultats théoriques issus du modèle numérique ont permis de conclure que Power Road® possède une durabilité similaire à celle d'une route classique.

B Performance énergétique du capteur Power Road

Eurovia a établi un contrat avec le CEA Tech pour répondre à la question de la performance énergétique de Power Road® et développer les modèles de dimensionnement énergétique.

Pour comprendre précisément les mécanismes thermiques en jeux, évaluer, améliorer, et optimiser ce procédé, des tests en laboratoire ont été réalisés pour mesurer le rendement de captage de Power Road en situations maîtrisées. Ces essais ont été réalisés au CEA Tech sous banc d'ensoleillement artificiel (BEA) et sous banc d'ensoleillement extérieur (BEE).

B.1 Mesure du potentiel de captage de Power Road (laboratoire)

Un prototype de l'échangeur thermique Power Road® (nommé EGM, pour échantillon grand modèle) a été testé au cours de l'été 2017 par le CEA Tech Liten sur son site du Bourget-du-Lac (73). A partir des essais réalisés sous les bancs d'ensoleillement extérieur ou artificiel, les équipes du CEA Tech ont pu mesurer des rendements énergétiques pour différentes conditions d'exploitation du capteur Power Road.

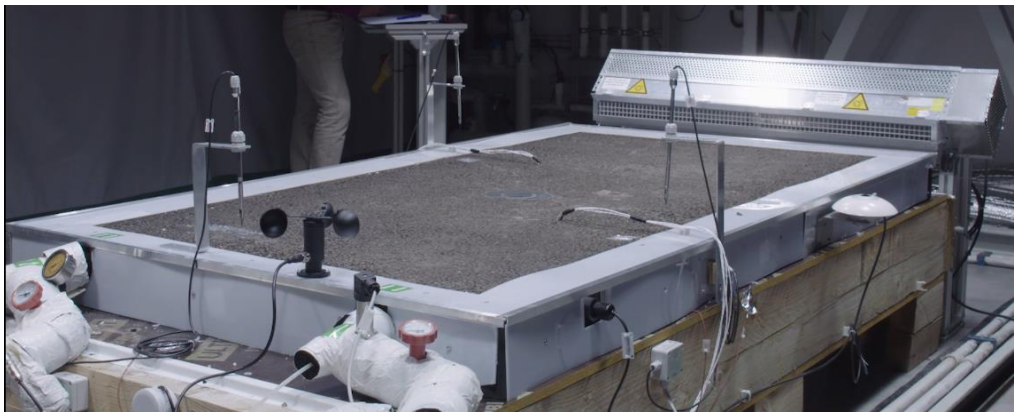


Figure 17 : Photo de l'échantillon prototype Power Road®

Les essais sous BEA (Banc d'Ensoleillement Artificiel) ont permis de déterminer un rendement instantané défini par le rapport de la puissance produite sur l'irradiance reçue à l'état stationnaire ; cette mesure permet de situer les performances du capteur Power Road testé comparativement aux capteurs solaires thermiques plus conventionnels. Les rendements instantanés obtenus s'échelonnent de 8 à 34% en fonction des conditions d'essais concernant l'irradiance solaire (de 600 à 1000 W/m²), la présence de vent (vent faible à moyen de 1 m/s à 3 m/s), et les températures d'entrée du fluide caloporteur dans le capteur (entre 20 et 40°C).

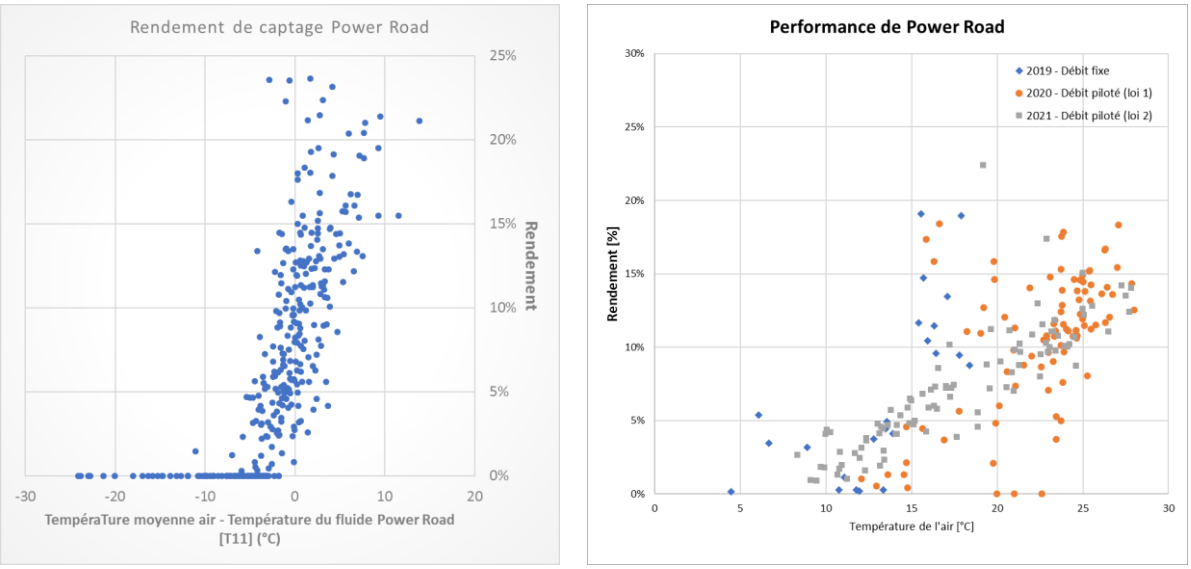
D'autres essais d'irradiance solaire sous le banc d'ensoleillement artificiel ont permis de tracer les premières courbes de rendement en puissance établies suivant la norme NF EN ISO 9806 « Capteurs solaires thermiques – Méthodes d'essai » et de comparer cet échangeur à des capteurs solaires thermiques usuels.

<u>Conclusion du CEA</u> : « Ces rendements sont loin d'être négligeables et les surfaces d'enrobé disponibles pour accueillir le système « Power road® » sont immenses dans les espaces urbains et périurbains : parkings, pistes aéroportuaires, routes. Ces premiers résultats laissent envisager une capacité de production importante de chaleur même sous des latitudes relativement élevées. »

[10] Rapport d'analyse comparative « POWER ROAD® » avec des capteurs solaires thermiques de référence, CEA Tech, Rapport technique DTS/SBST/LSTB/2017/313, décembre 2018.

B.2 Mesure du potentiel de captage de Power Road (échelle réelle)

Un des rendements de captage de Power Road est le ratio entre l'énergie thermique captée par la chaussée et l'énergie solaire thermique incidente sur la chaussée. Les rendements journaliers mettent en évidence qu'il est possible de capter plus de 5% de l'énergie solaire certains jours en période hivernale (même lorsque la température extérieure est à peine de 10°C du fait de l'ensoleillement élevé). Ce rendement journalier atteint près de 25% en période estivale. En moyenne, pendant la période estivale (de Juin à Août) ; ce rendement journalier s'est établi à 15% à Saint-Arnoult-en-Yvelines



a/ Saint-Arnoult-en-Yvelines *b/ Olonzac*

Figure 18 : Les performances de captage de Power Road

Un autre rendement de captage de Power Road est le ratio entre l'énergie thermique captée par la chaussée et l'énergie électrique consommée par la pompe de circulation qui fait circuler le fluide dans les tubes Power Road. Sur l'année 2019, le système Power Road a permis de capter 63 576 kWh. ; le circulateur a consommé 264 kWh d'électricité soit un coefficient de perfroamnce annuel de 242 (24 200 %). Sur cette même année, Power Road a fonctionné durant 3 639 heures soit 42% du temps.

	Energie solaire captée par Power Road Thermique	***Energie consommée par les auxiliaires (pompes) Electrique***	***Coefficient de perforamnce de Power Road***	***Heure de fonctionnement recharge SGV par "Power Road"***	***Nb d'heure mois***	***% fonctionnement PR***
janv.-19	172 kWh	4 kWh	43.0	29 h	744	4%
févr.-19	1 074 kWh	10 kWh	107.4	121 h	672	18%

mars-19	2 600 kWh	16 kWh	162.5	224 h	744	30%
avril-19	6 032 kWh	32 kWh	188.5	418 h	720	58%
mai-19	8 191 kWh	28 kWh	292.5	521 h	744	70%
juin-19	14 025 kWh	52 kWh	269.7	641 h	720	89%
juil.-19	15 805 kWh	46 kWh	343.6	593 h	700	85%
août-19	10 159 kWh	38 kWh	267.3	615 h	744	83%
sept.-19	4 502 kWh	20 kWh	225.1	334 h	720	46%
oct.-19	636 kWh	8 kWh	79.5	80 h	744	11%
nov.-19	147 kWh	4 kWh	36.8	25 h	720	3%
déc.-19	233 kWh	6 kWh	38.8	38 h	744	5%
Total	**63 576 kWh**	**264 kWh**	**242**	**3 639 h**	**8 716**	**41,7%**

Tableau 3 : Rendement mensuel de captage - Energie produite / Energie électrique consommée

B.3 Validation des modèles CEA Tech

Plusieurs générations de modèles permettant de reproduire le comportement thermique dynamique de Power Road ont été élaborés dans le cadre du programme de recherche ; ces différentes versions ont permis de développer, par itération, un modèle de dimensionnement prenant en compte de plus en plus de paramètres physiques. La performance énergétique est obtenue par un bilan thermique de la chaussée équipée de Power Road. Les phénomènes physiques pris en compte sont illustrés ci-dessous.

[11] Modèles numériques MEGM et MD1 (décrivant le prototype de l'EGM et le D1), CEA Tech Rapport Technique, DTS/LV/2019/023, 23 Juillet 2019.

[12] Modèles numériques MEPM (décrivant le prototype de l'EPM), CEA Tech, Rapport Technique DTS/LV/2020/010, 7 mai 2020.

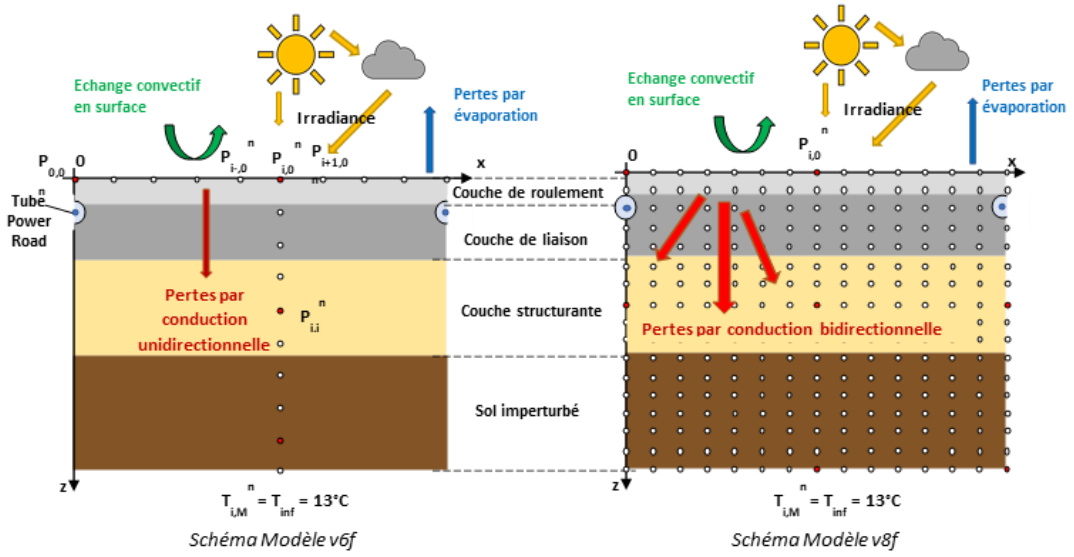


Figure 19 : Exemple de modèles numériques développés par le CEA Tech pour Eurovia.

Validation des modèles

Les modèles ont été calibrés sur un ensemble de mesures obtenues par expérimentation d'un échantillon grand modèle EGM du système « Power Road® » sur le banc d'ensoleillement extérieur du CEA Tech, Bourget-du-lac (73) durant l'été 2017. Le comportement du modèle est très proche des résultats obtenus avec les données d'entrée mesurées (Cf. Figure 20).

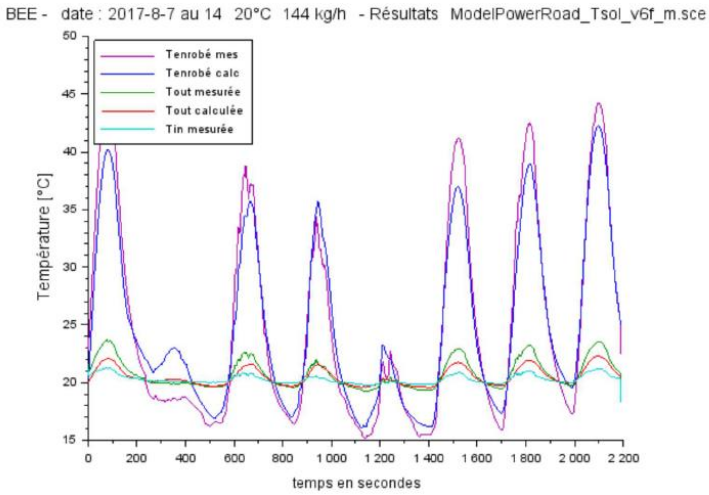


Figure 20 : Comparaison des simulations (modèle v6f avec pertes dans le sol) avec les essais EGM (sans pertes) sous le banc d'ensoleillement extérieur (BEE) – Période de 7 au 14 août 2017.

Le CEA Tech a comparé les résultats de ces modèles avec les mesures enregistrées sur l'opération de Saint-Arnoult-en-Yvelines D1. Le productible d'une installation Power Road en fonction des conditions environnementales et géographiques du site peut être prédit par les modèles après calage.

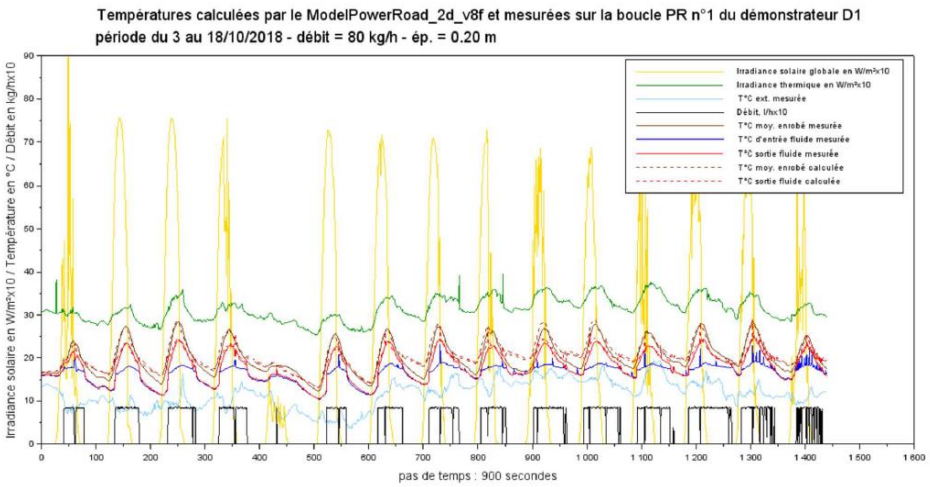


Figure 21 : Modèle v8f, comparaison des simulations le pilote D1 – Période de 3 au 18 octobre 2018.

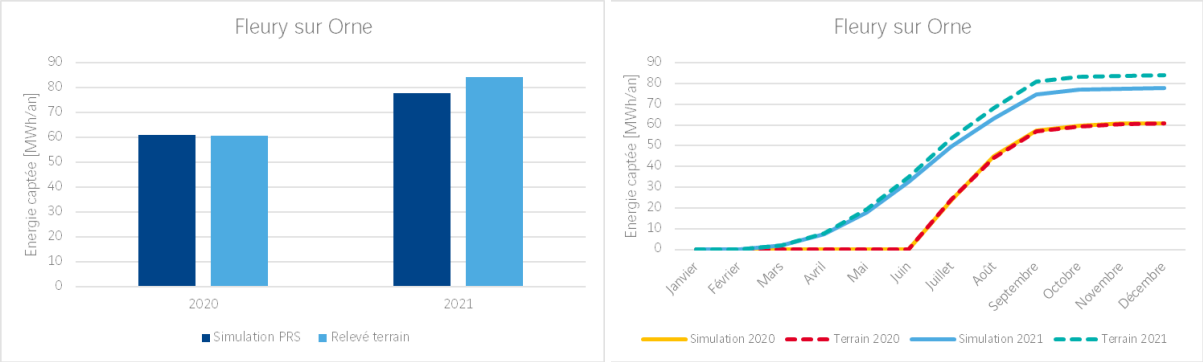
[13] Modèles numériques MEGM et MD1 (décrivant le prototype de l'EGM et le D1), CEA Tech Rapport Technique, DTS/LV/2019/023, 23 juillet 2019.

[14] Modèles numériques MEPM (décrivant le prototype de l'EPM), CEA Tech, Rapport Technique DTS/LV/2020/010, 7 mai 2020.

B.4 Validation par Eurovia des modèles développés par le CEA tech

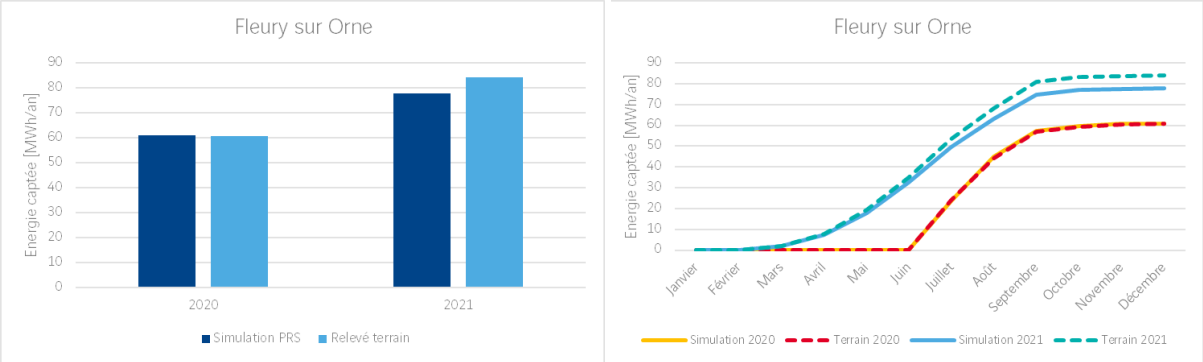
Avant un usage prédictif des modèles, le CEA Tech a recommandé d'élargir les contrôles à d'autres installations en service suffisamment instrumentées, démonstrateurs ou autres installations particulières.

Ces travaux ont été réalisés sur les sites de Saint-Arnoult, d'Olonzac et de Fleury. Pour chacun des projets, les conditions météorologiques et les points de fonctionnement de Power Road (débit, température du fluide en entrée du capteur Power Road) relevées sur site sont exploitées comme données d'entrée des modèles. Des comparaisons pour le site de Fleury-sur-Orne sont fournies en



a/Bilan annuel *b/ Profil mensuel*

Figure 22. Ces diverses confrontations avec les données terrains sont satisfaisantes.



a/Bilan annuel *b/ Profil mensuel*

Figure 22 : Confrontation aux données terrain de Fleury sur Orne.

[15] Utilisation des modèles de calculs développés par le CEA Tech pour la prévision des performances de Power Road, rapport de stage de Loïc Merlet, 2022.

[16] Simplification de l'architecture informatique du modèle Power Road, rapport de stage de Simon Lemeute, 2022.

B.5 Bilan

LE CEA Tech conclut ses travaux en indiquant qu'avec ces modèles, Eurovia dispose d'outils prédictifs complets lui permettant de simuler le productible d'une installation Power Road® en fonction des conditions environnementales et géographiques. Un tel outil vise à être utilisé pour répondre à des appels d'offres et à consolider le dimensionnement des installations futures.

C Performance énergétique des installations Power Road

Les opérations mises en services depuis 2018 sont largement instrumentées en s'appuyant sur les préconisations du métier en termes d'instrumentation. Cette instrumentation permet de fournir des données terrains pour valider les modèles développés pour prédire le productible de Power Road mais également de vérifier la performance de l'installation globale intégrant Power Road.

Les systèmes énergétiques ci-dessous n'ont été examinés par le Comité d'ATEx qu'à titre d'exemples d'applications possibles du procédé.

C.1 Instrumentation des installations

L'analyse des performances des installations consiste principalement en un calcul des coefficients de performances des PAC. Différentes définitions des COP existent prenant en compte ou non les auxiliaires des PAC. Le principe de l'instrumentation est donc de mesurer la production de chaleur par l'installation (puissance, énergie produite pour les usages) et les consommations d'énergie électrique par la pompe à chaleur et les auxiliaires (pompes de circulation principalement).

Organes	Paramètres mesurés
Pompe de circulation	Puissance électrique (W) Energie électrique (kWh) Débit (m^3/h)
Compteur d'énergie « bidirectionnel »	Energie thermique « extraite » (kWh) Energie thermique « restituée » (kWh) Débit (m^3/h) Températures aller et retour (°C) Puissance
Compteur d'énergie	Energie « restituée » (kWh) Débit (m^3/h) Températures aller et retour (°C) Puissance
Pompe à chaleur	Energie électrique (kWh) Energie thermique chaud (kWh) Puissance chaude Température évaporateur aller et retour (°C) Température condenseur aller et retour (°C)
Station météo	Radiation solaire (W/m²) Vent (m/s) Température air (°C) Humidité (%) Pluviométrie (mm)
Sondes de température : local technique	Températures fluides (°C)
Sondes de température : Chaussées Power Road®, Boucle de Tickelman	Températures enrobé (°C) : profils verticaux Boucle de Tickelman (appliques) Nappes Power Road (appliques en entrée/sortie)
Sondes de température : Champ de sondes géothermiques	Températures forage (°C) – Profondeur : 2 m, 20 m, 40 m, 60 m Température sous-sol (profondeur : 2 m et 5 m)

Tableau 4 : Exemple de plan de comptage – Pilote D1, Saint-Arnoult-en-Yvelines.

Les projets de Fleury-sur-Orne et d'Olonzac ont également été instrumentés pour effectuer des suivis avec le même niveau d'exigences.

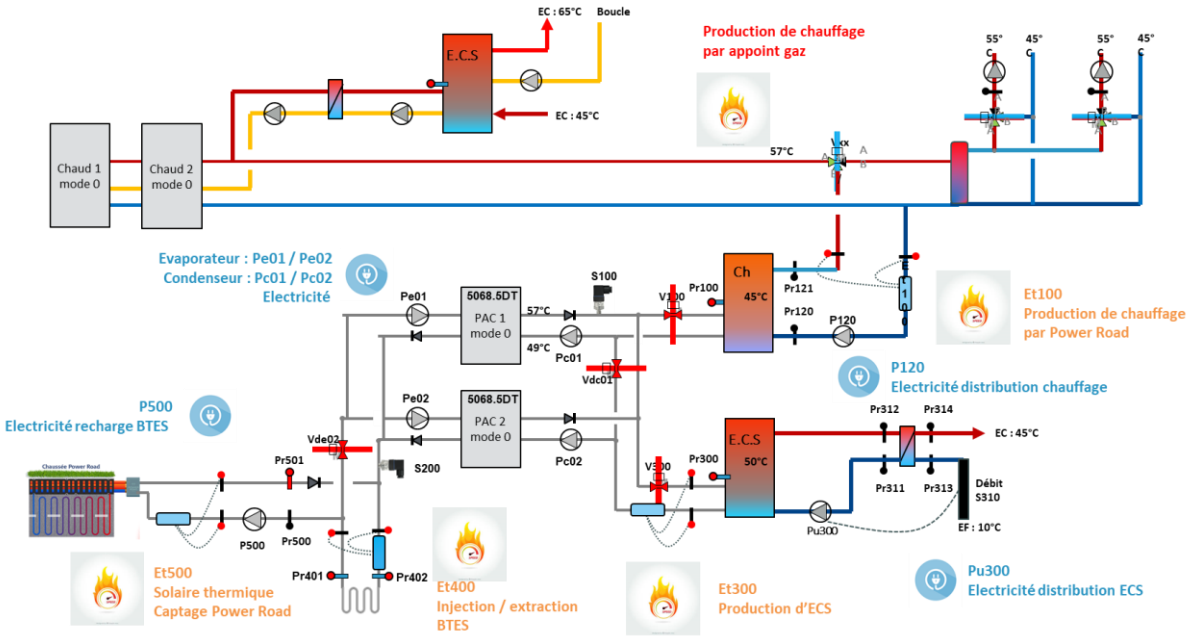


Figure 23 : Principaux points de mesure – Fleury-sur-Orne.

[17] Méthodologie pour le suivi des performances de pompes à chaleur - cahier des charges, Peter Riederer, Vincent Partenay, Sandrine Pincemin, CSTB, ESE/ENR-2007.019R

C.2 Performance de l'opération de Saint-Arnoult-en-Yvelines

L'ensemble des mesures du site est collecté grâce à un dispositif de supervision comprenant le suivi et le contrôle de l'ensemble des échanges énergétiques entre les différents systèmes, ainsi que la possibilité d'interagir à distance sur la régulation et les différents modes de fonctionnement de l'installation. Un bilan pluriannuel a été établi en collaboration avec un bureau d'études spécialisé en géothermie, Burgeap.

Après plus d'un an de fonctionnement, ce projet pilote Power Road a atteint les objectifs globaux suivants :

- 140 kWh/m² d'énergie solaire thermique ont été captés : les rendements théoriques établis pendant la phase de recherche ont été atteints,
- Le champ de sondes géothermiques a été rechargé à hauteur de 123 % : plus de chaleur a été injectée que l'installation n'en a utilisé, la température dans le champ de sondes est stabilisée (Cf. Figure 24)
- L'efficacité énergétique de la production de chaleur est atteinte avec un SCOP annuel de 4.8 : la pompe à chaleur et le circulateur côté évaporateur consomment peu d'électricité par rapport à la quantité de chaleur produite.

- La régulation intelligente a permis de gérer automatiquement les différents modes de fonctionnement (captage et stockage, chauffage et déneigement) en assurant le confort des usagers de la boutique Ulys.
- La viabilité hivernale a été assurée : le déneigement et le déverglaçage de la chaussée s'est activé lorsque les conditions le demandaient.

[18] Power Road® – Démonstrateur D1 – St Arnoult (78), Suivi et analyse de la performance énergétique de « Power Road® » - Décembre 2019, Rapport Burgeap, Réf : CGHCIF183032 / R RGHCIF08568-11

[19] Power Road® – Démonstrateur D1 – St Arnoult (78), Suivi et analyse de la performance énergétique de « Power Road® » - Décembre 2020, Rapport Burgeap, Réf : CGHCIF183032 / R RGHCIF08568-13

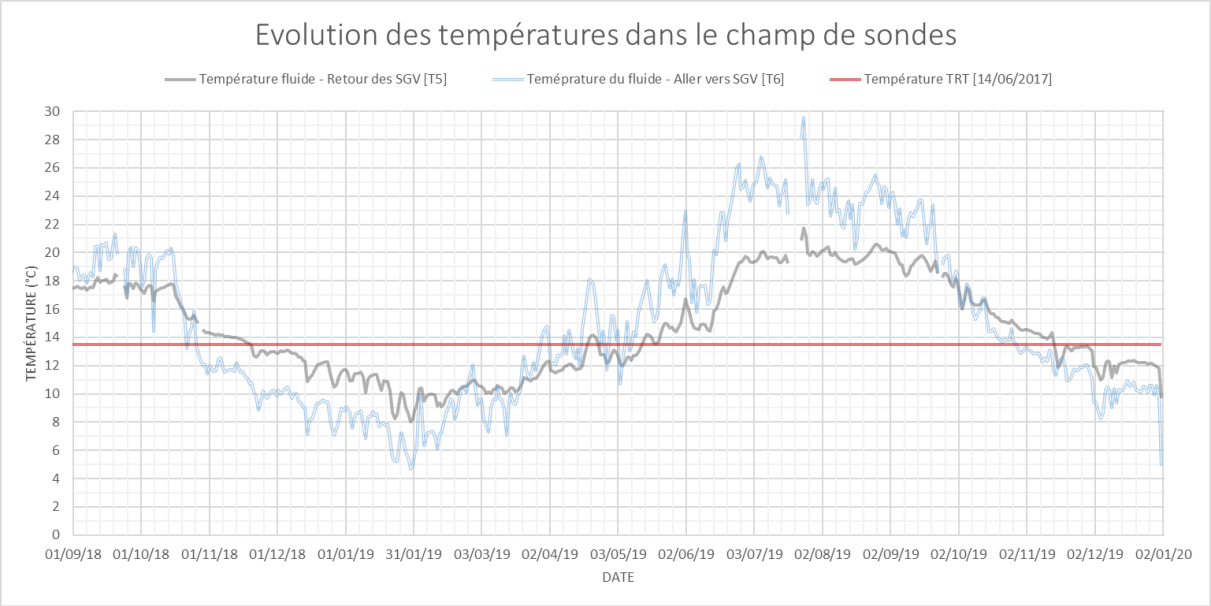


Figure 24 : Evolution des températures du fluide Aller/Retour vers le champ de sondes permettant de stabiliser sa température moyenne par un cycle de charge / recharge.

C.3 Performance de l'installation d'Olonzac

L'installation géothermique du bâtiment tertiaire d'Olonzac intègre Power Road et permet de couvrir 100% des besoins de chaud (40 MWh/an) et de froid (4,5 MWh/an).

Le suivi a permis de confirmer que la régulation intelligente du système a bien fonctionné : dès que le champ de sonde a baissé en température et que les conditions météorologiques étaient favorables, le captage de chaleur de la chaussée a été enclenché pour recharger celui-ci.. Les températures en entrée et sortie du champ de sondes respectent bien la règlementation de la géothermie de minime importance en vigueur (température du fluide en entrée du champ de sondes comprise entre -3°C et 40°C).

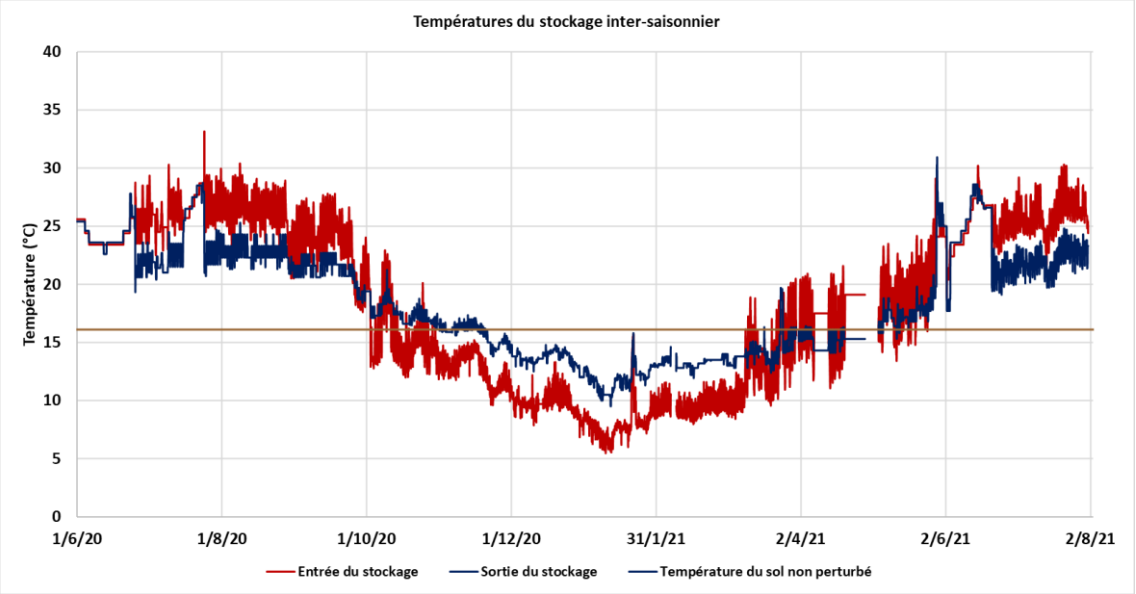


Figure 25 : Températures du stockage intersaisonnier : charge et décharge du champ de sondes géothermiques.

L'effet « booster » de Power Road sur la géothermie trouve une traduction concrète dans les coefficients de performances saisonniers (SCOP) de la PAC seule :

- Sur le premier hiver (2019-2020), le SCOP était de l'ordre de 5, c'est-à-dire que pour produire 5 kWh de chaleur, la PAC a extrait 4 kWh de chaleur gratuite dans le champ de sondes et consommé 1 kWh d'électricité.
- Lors du second hiver (2020-2021), le fonctionnement de la PAC a pu être encore optimisé grâce à l'intégration d'une « loi d'eau » (ajustement de la température de l'eau de chauffage en fonction des fluctuations de la température de l'air extérieur), ce qui a contribué à atteindre un SCOP de la PAC de 5,5.

[20] Power Road®, la route à énergie positive, un booster de géothermie, article RGRA n° 984, Septembre 2021.