



CAPITALISATION ET VALORISATION DE LA CONNAISSANCE GÉOLOGIQUE DE LA GMI

Vivien BAUDOUIN (BRGM)

Séance technique du CFGI
« Géothermie »

9 novembre 2023 — 14h00-17h30



COMITÉ FRANÇAIS DE
GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR
ET DE L'ENVIRONNEMENT



Géosciences pour une Terre durable

brgm

OBSERVATOIRE DE LA GÉOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE ET MUTUALISATION DES DONNÉES POUR LA GESTION DURABLE DES RESSOURCES. EXEMPLES DE VALORISATION

- Capter les données issues de projets de géothermie de minime importance :
 - Contexte légal et réglementaire
 - Avant et depuis la GMI
 - Mission régaliennne du BRGM
 - Données techniques et géologiques associées
 - Capitalisation et diffusion
 - Sensibilisation, collecte, capitalisation, diffusion
 - Banque de données du Sous-Sol & Observatoire de la géothermie de surface

- Exemples de valorisation des données en provenance des TRT :
 - Méthodologie
 - Cartes de température du sous-sol moyennée
 - Conductivité thermique des lithologies *in-situ* et développements en cours

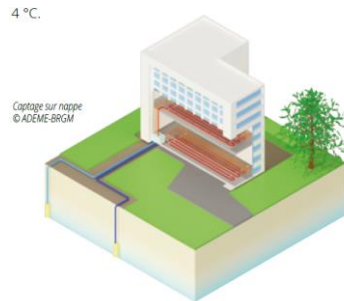
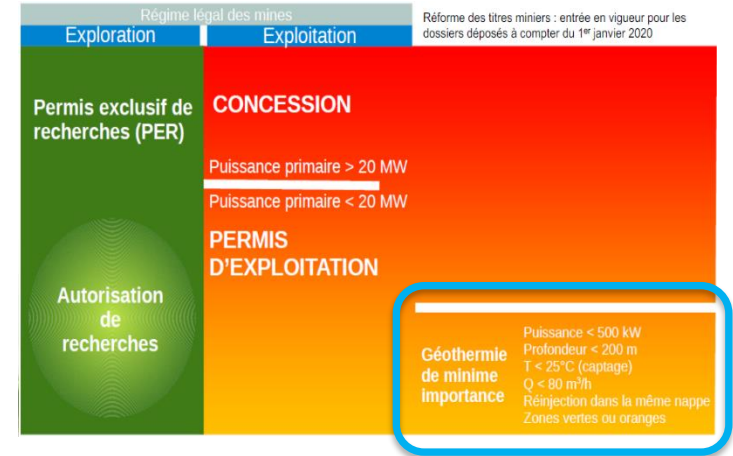
LE RÉGIME SPÉCIFIQUE DE LA MINIME IMPORTANCE

(4) Géothermie de minime importance (GMI)

Géothermie (de très basse énergie) sur échangeur géothermique ouvert ou fermé d'une profondeur comprise entre 10 mètres et 200 mètres, et répondant aux conditions mentionnées au II de l'article 3 du Décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie.

Ces installations de géothermie relèvent du **régime spécifique applicable aux gîtes de minime importance** :

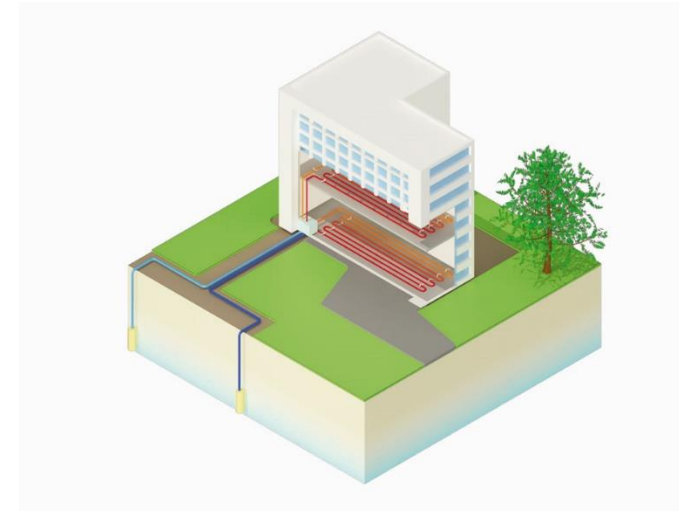
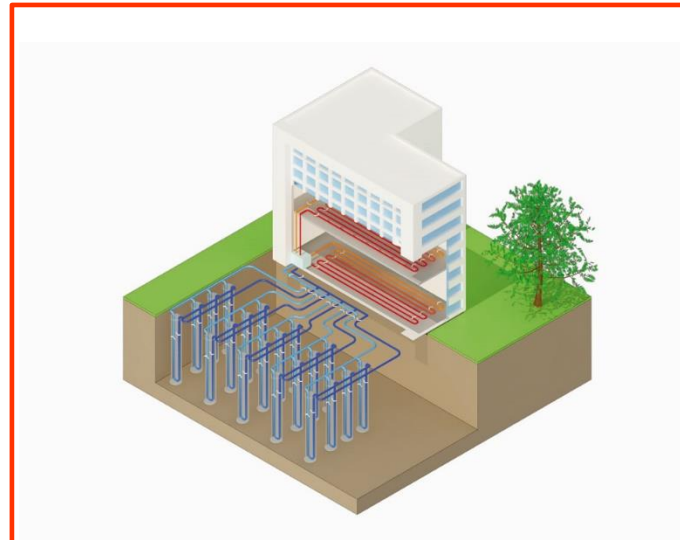
- Obligation de déclaration d'ouverture des travaux d'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance , via un téléservice.
- L'exploitation se conforme aux prescriptions techniques de l'arrêté ministériel du 25 juin 2015.



Géothermie de minime importance : de la réglementation aux règles de l'art / BRGM, DREAL Pays de la Loire

Publié en 2021 par le BRGM et la DREAL des Pays de la Loire, ce guide destiné aux professionnels et aux particuliers offre une vue globale des étapes successives d'un projet de géothermie de minime im...

LES DEUX TYPES D'ÉCHANGEURS DE GÉOTHERMIE ASSISTÉE PAR POMPE À CHALEUR



	<i>Echangeur (sonde) géothermique vertical</i>	<i>Doublet sur aquifère superficiel</i> (puits de production et d'injection)
Echange	échange d'énergie sans matière = <u>boucle fermée</u>	échange d'énergie et de matière = <u>boucle ouverte</u>

ECHANGEURS FERMÉS : LES SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES



Forage



Pieds de sonde



**Mise en place de la sonde et
cimentation**



Mise en place de la sonde

DONNÉES DE LA GMI

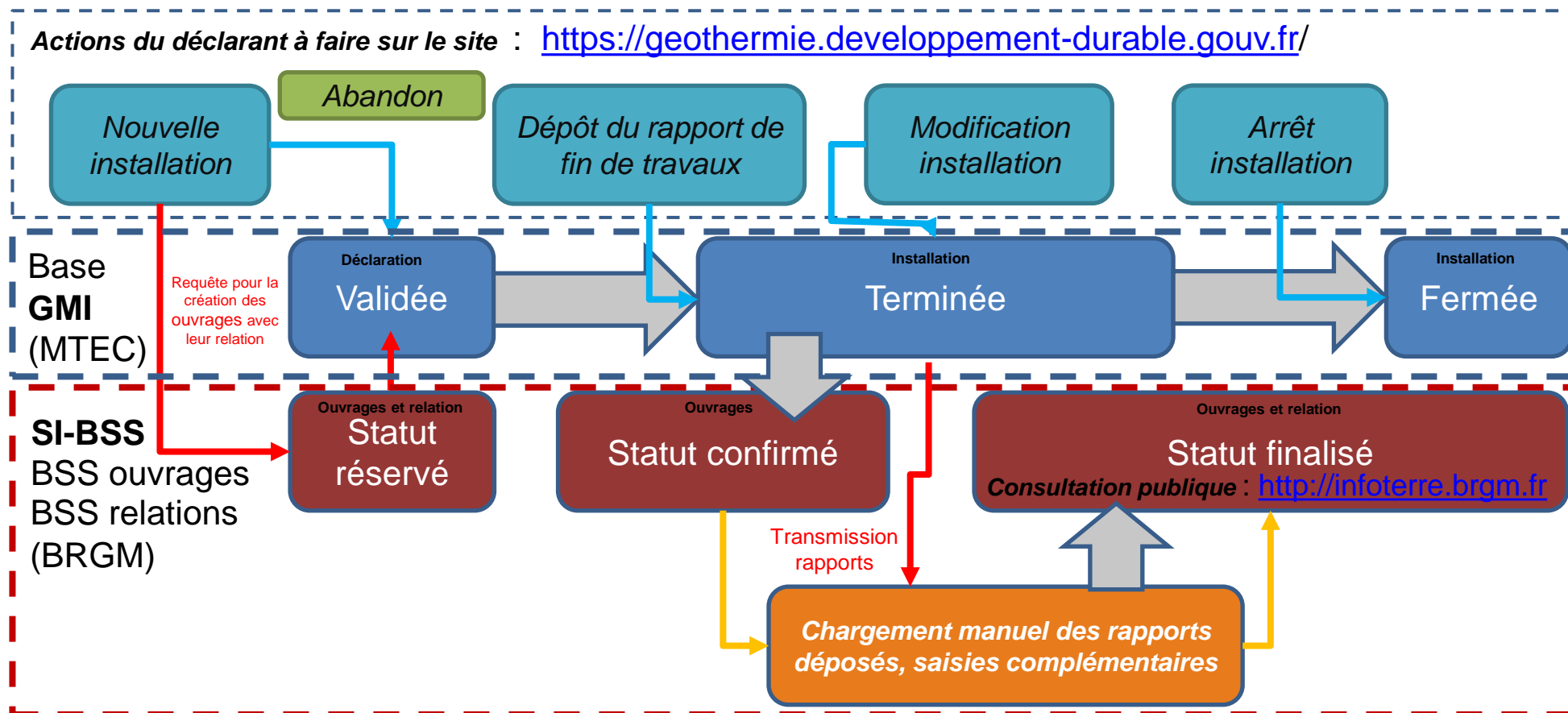
- Les Rapports de Fin de Forage pour les installations sur échangeurs fermés :
 - Plan d'implantation au 1/1000 (échangeurs, collecteurs, équipements connexes)
 - Relevé géomètre expert si plus de 10 sondes (4.1.7. Terrassements)
 - Déroulement général du chantier (dates des différentes opérations et difficultés et anomalies éventuellement rencontrées ainsi que les procès-verbaux et documents demandés dans les articles précédents en particulier le procès-verbal de contrôle de la cimentation)
 - Coupes géologiques
 - Coupes techniques précisant les caractéristiques des équipements installés et les modalités de mise en œuvre (diamètres, nature des tubages, méthode et matériaux utilisés lors de la foration, volume des cimentations, profondeurs atteintes)
 - Composition et volume du fluide caloporteur utilisé pour les sondes
 - Certificats de conformité et caractéristiques des matériaux utilisés
 - Essais ou épreuves de mise en pression
 - Test de réponse thermique (TRT) le cas échéant

MISSION BRGM

- 1959 : Décret n°59-1205 du 23 octobre 1959 relatif à l'organisation administrative et financière du BRGM
 - Il est notamment chargé de recueillir, directement ou auprès d'autres détenteurs, valider, archiver et mettre à la disposition des usagers sous une forme appropriée les informations couvrant le territoire national ainsi que le plateau continental, parmi lesquelles celles concernant les fouilles, forages et levés géologiques recueillis en application du [code minier](#)
- 2022 : Arrêté du 20 décembre 2022 relatif au téléservice dédié à l'accomplissement des procédures relatives à la géothermie de minime importance :
 - Le BRGM accède à tout ou partie des données mentionnées à l'article 2, en raison de leurs attributions et pour les besoins exclusifs des missions qui leur sont confiées, le personnel chargé de recueillir, de valider, d'archiver et de mettre à la disposition des usagers les informations relatives aux forages géothermiques et celui chargé d'exécuter toutes recherches de nature à faire progresser la géothermie en application de l'[article 1er du décret du 23 octobre 1959 susvisé](#).

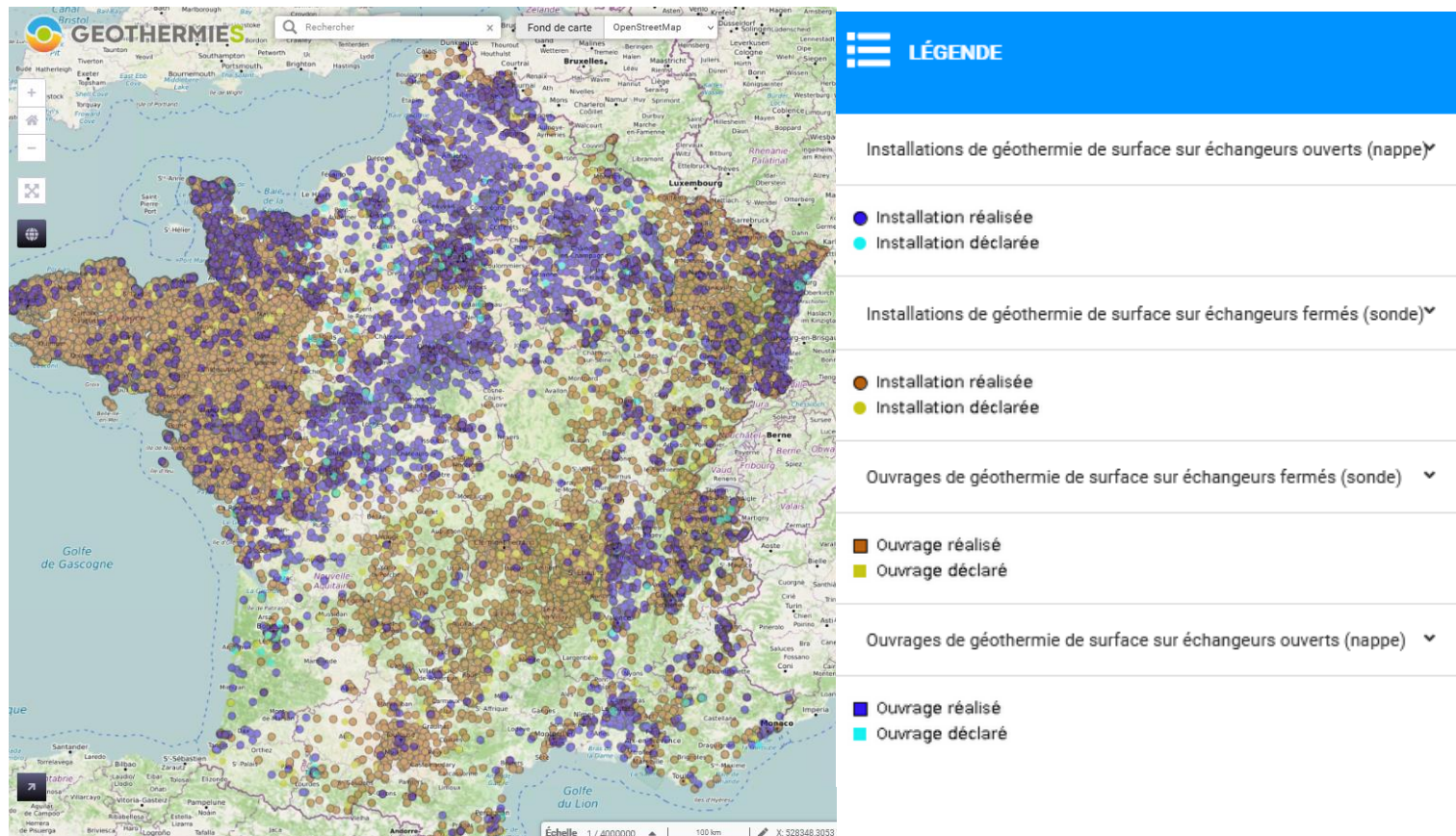
CAPITALISATION ET DIFFUSION

- Déversement en Banque de données du Sous-Sol



L'OBSERVATOIRE DE LA GÉOTHERMIE DE SURFACE

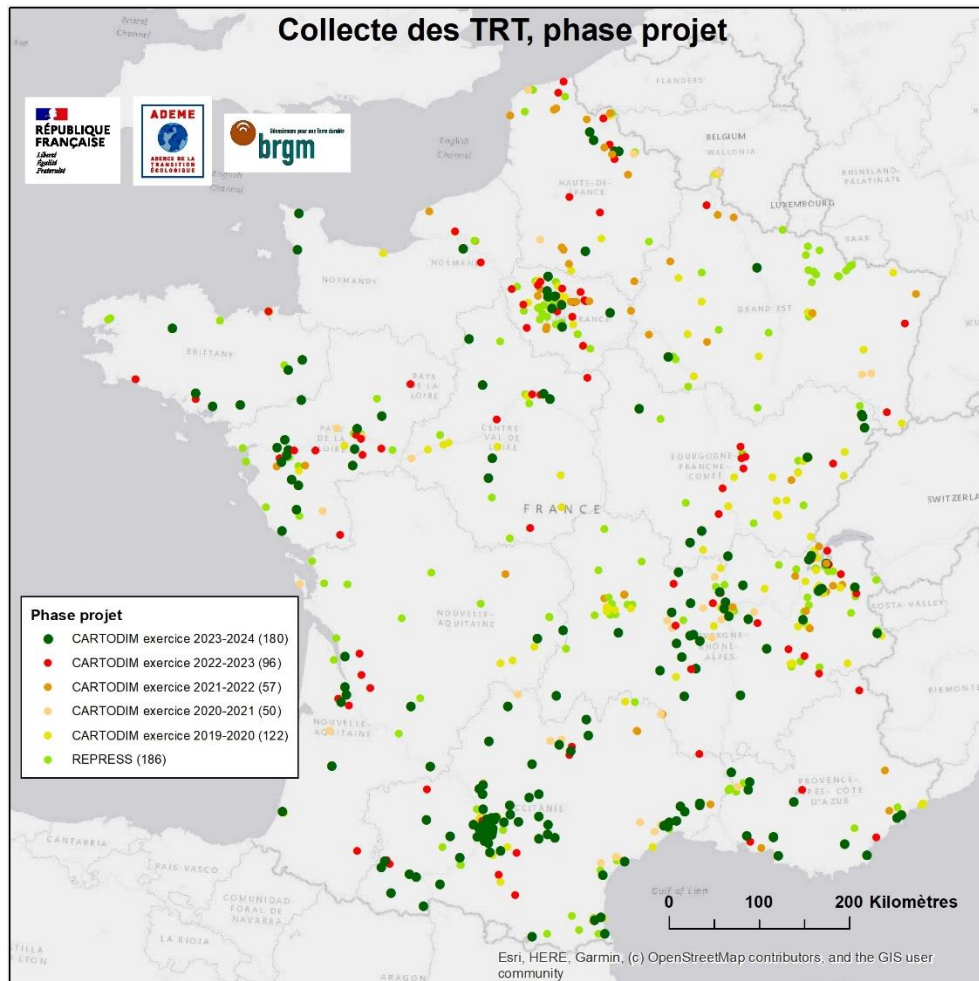
- https://www.geothermies.fr/viewer/?al=autolayer_operation_surface



- Plus de 30 000 installations de géothermie de surface (échangeurs ouverts et fermés)
- Plus de 7700 installations relevant de la GMI
- Plus de 4500 installations identifiées hors individuelles

IDENTIFICATION DES SONDES TEST ET COLLECTE DES TESTS DE RÉPONSES THERMIQUES (TRT)

- Cadre: projet BRGM-ADEME « CARTODIM » depuis 2018



- A ce jour, 700 TRT collectés !
- Sources :
 - Transmission en masse des rapports de TRT par les prestataires
 - Dépôt des TRT sur TéléGMI (41 dossiers)
 - Examen des dossiers du Fonds Chaleur de l'ADEME
- Poursuite des recherches avec les champs de plus de 10 sondes, big data ...

LE TEST DE RÉPONSE THERMIQUE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES ÉCHANGEURS GÉOTHERMIQUES

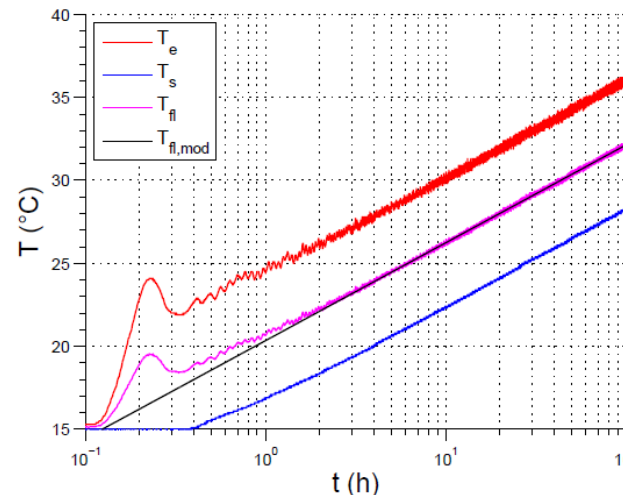
- Objectif : Estimer :
 - La température initiale T_0 [°C] et la conductivité thermique moyenne du sous-sol λ_m [W.K⁻¹.m⁻¹]
 - La résistance du forage R_f [K.m.W⁻¹]
- Déroulement du test en deux phases :
 - Circulation à débit constant → Fluide se met à la température moyenne T_0 du terrain
 - Circulation à débit et puissance P constants → Mesure de l'évolution de T_e et T_s → Calage de λ_m et R_f sur les données expérimentales :

$$T_{fl}(t) = \frac{T_e + T_s}{2} \approx T_0 + p \left[R_f + \frac{1}{4\pi\lambda_m} \left(\ln \left(\frac{4\lambda_m}{(\rho C_p)_m r_f^2} t \right) - 0.5773 \right) \right] = A \ln(t) + B$$

$(\rho C_p)_m$: capacité calorifique du terrain [MJ.K⁻¹.m⁻³]
 r_f : rayon du forage [m]



Le mini-module de TRT développé par l'EPFL

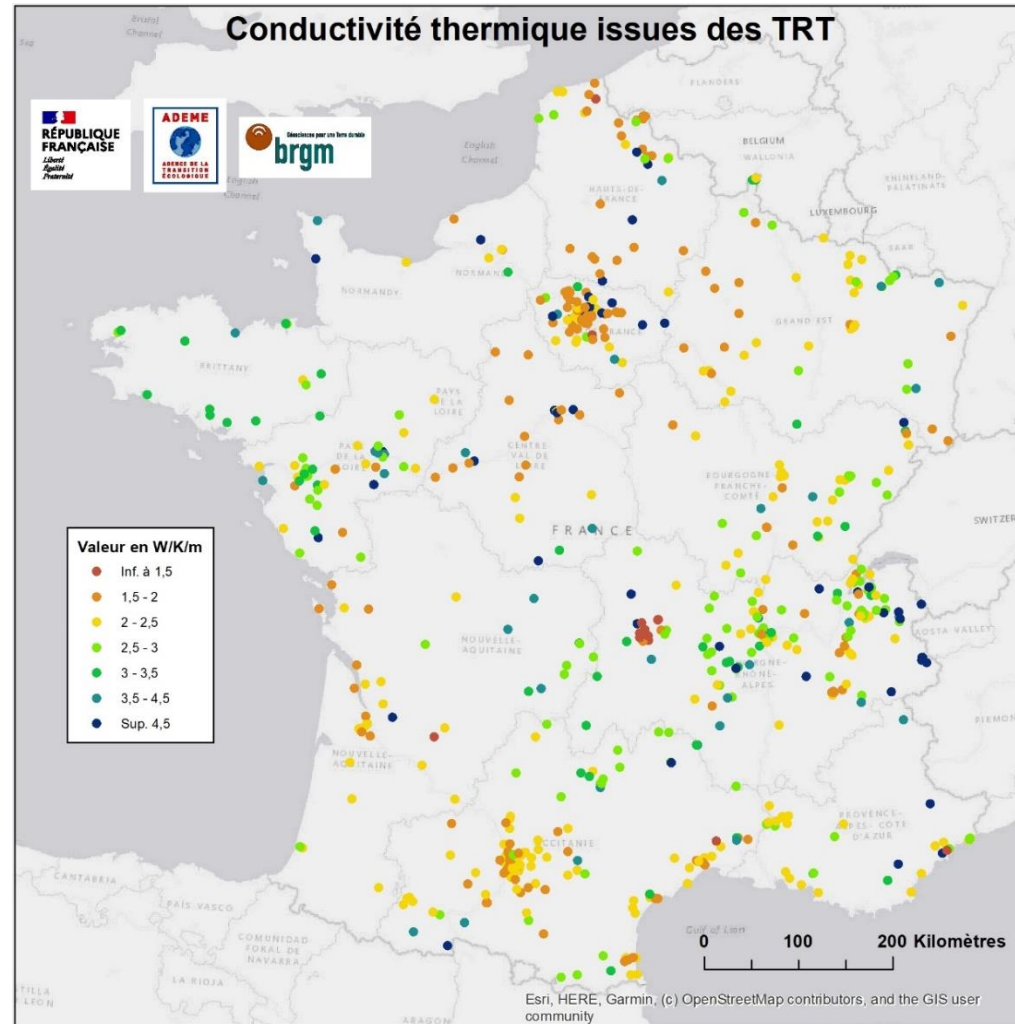


$$T_{fl,mod}(t) = A \ln(t) + B$$

Evolution de la température

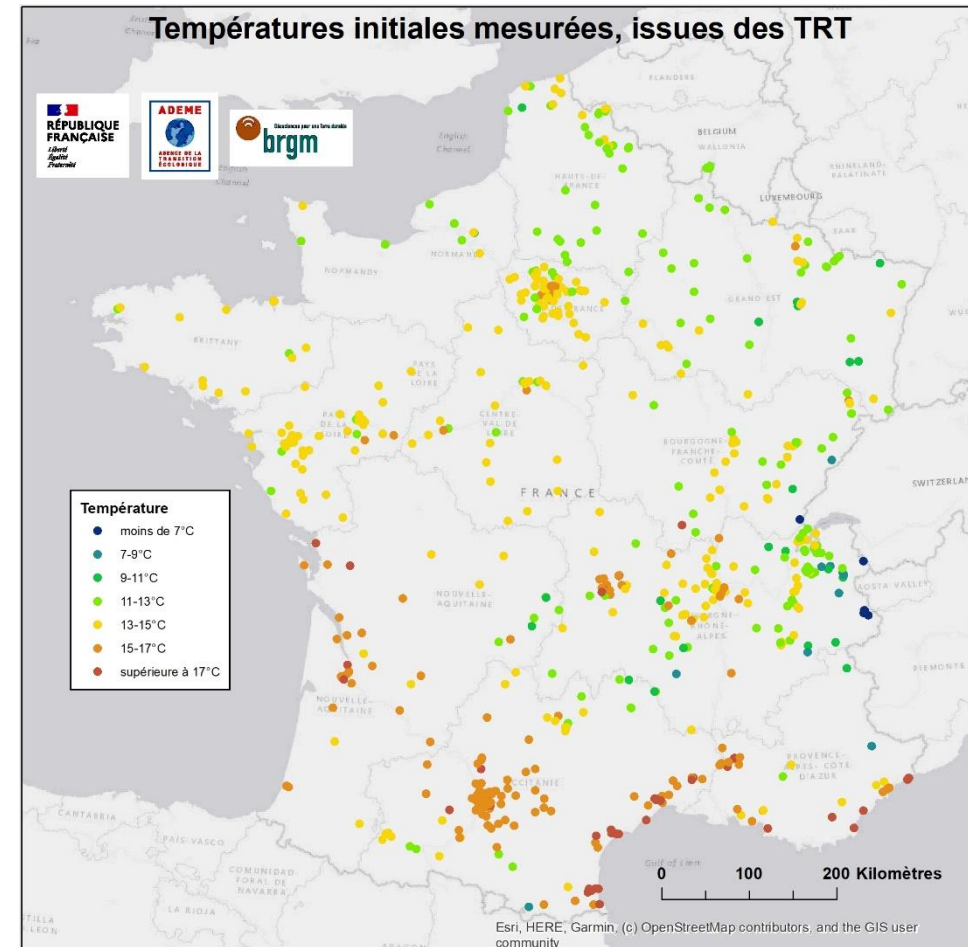
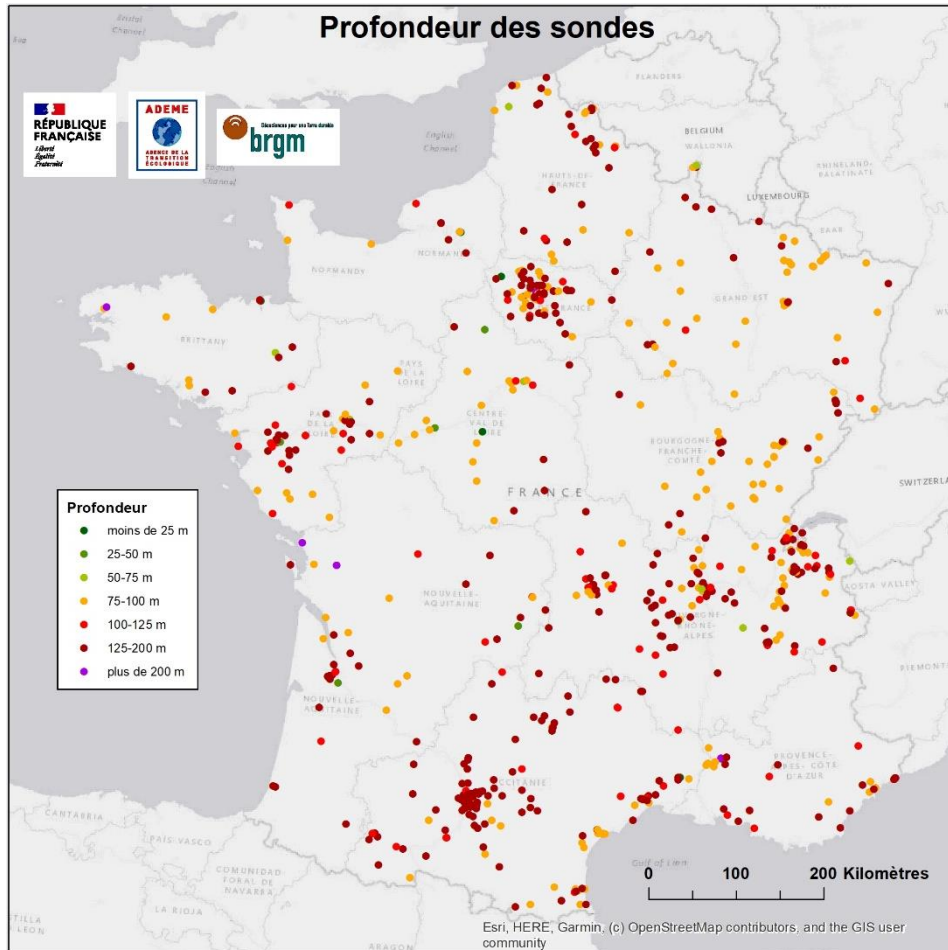
RÉPARTITION CARTO DES RÉSULTATS DES TRT

- Jeux de données du 07/11/2023, 691 mesures de conductivité λ retenues :



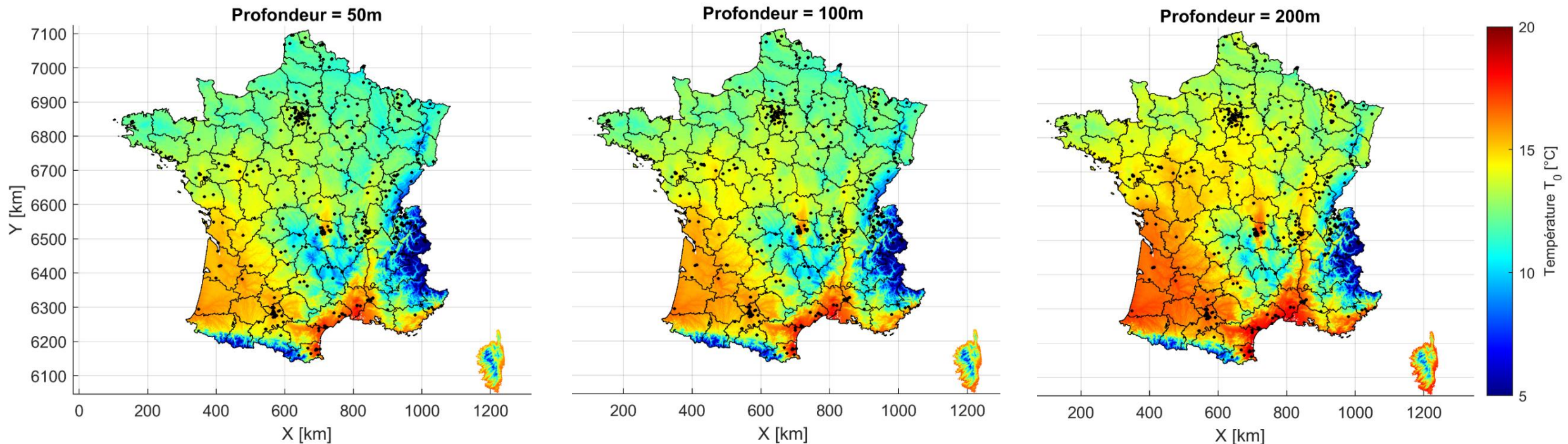
RÉPARTITION CARTO DES RÉSULTATS DES TRT

- Profondeur et température initiale du terrain T_0 :



DONNÉES DE TEMPÉRATURE DU SOUS-SOL MOYENNÉE

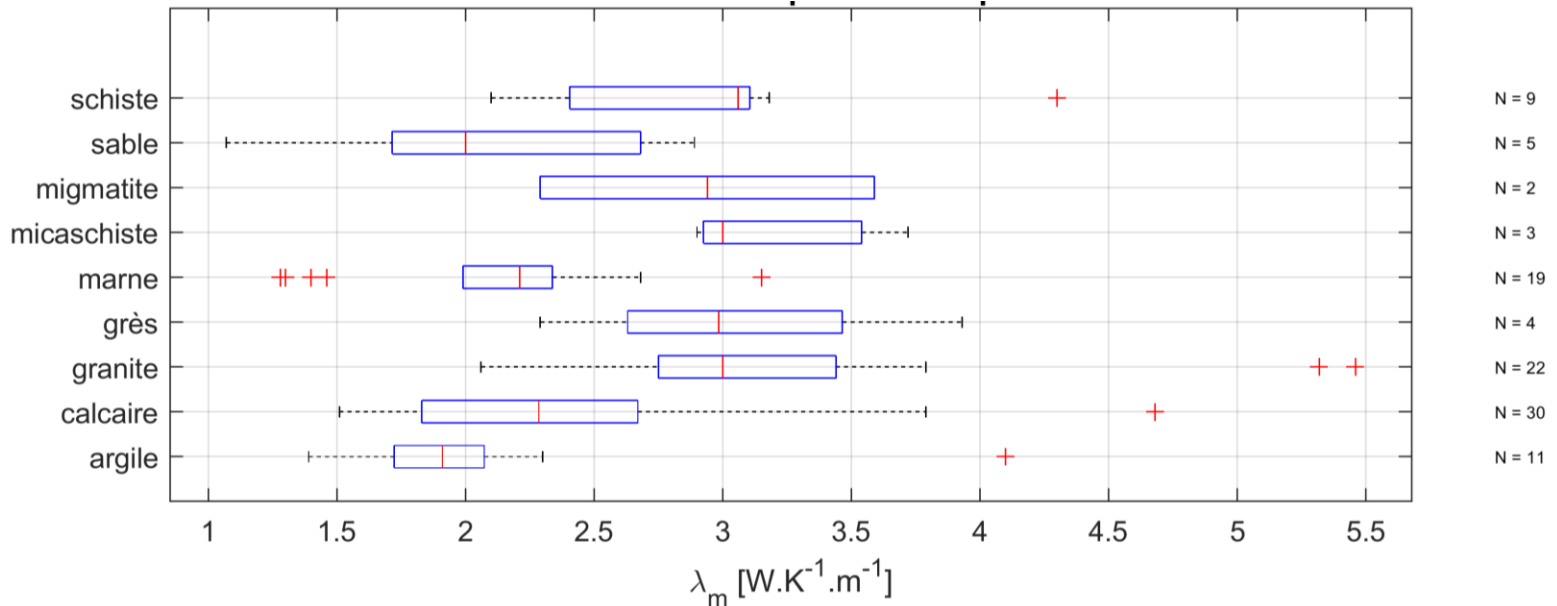
- Température moyenne estimée T_0 : Construction d'une interpolation par krigeage :
 - 420 points à travers toute la France
 - Erreur sur la prédiction $\approx 0,7$ à $1,0$ °C (estimation par racine de l'erreur quadratique moyen après validation croisée)
 - Reproduit les anomalies locales (par ex. le bassin de la Limagne autour de Clermont-Ferrand)
 - Mise à jour régulière de la carte



ANALYSE DE LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DU SOUS-SOL

- Conductivité thermique du terrain λ_m :
 - Les coupes lithologiques de 363 forages ont été retranscrites dans le registre de classification lithologique du BRGM (<http://infoterre.brgm.fr/fiche-registry/thesaurus.php?ncl=litho>)
 - Les distributions de conductivité thermique ont été estimées pour les grandes familles de lithologie
 - Grande variabilité de λ_m au sein d'une même famille

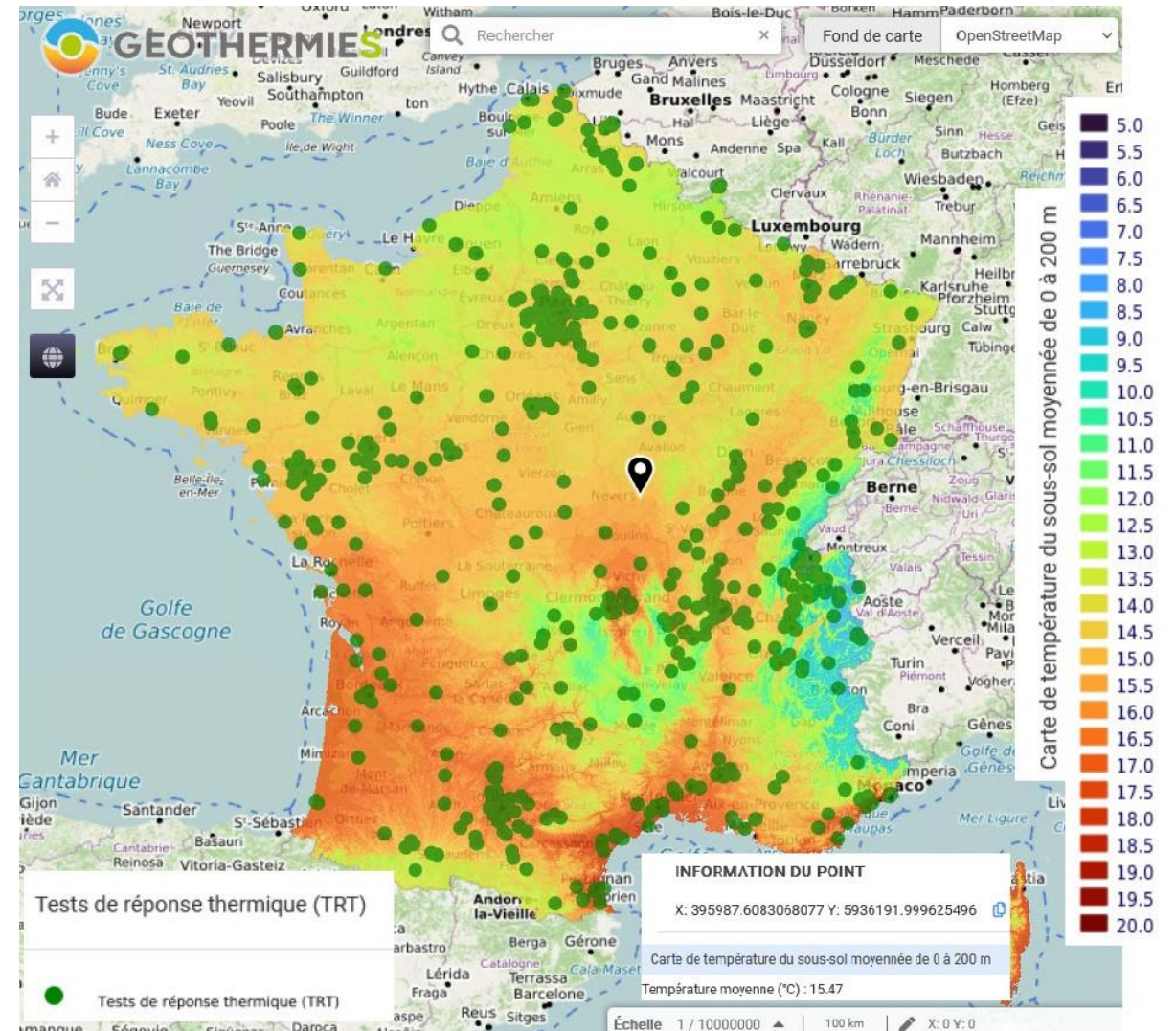
Conductivité mesurée sur 105 forages dont plus de 80% de la hauteur traverse une seule lithologie (rapport BRGM/RP70833-FR)



NB : La boîte bleue s'étend du premier au dernier quartile, et couvre donc 50 % des valeurs ; la barre rouge centrale représente la valeur médiane ; les croix rouges représentent les points s'écartant considérablement de la médiane ; les barres noires pointillées s'étendent du minimum au maximum de l'échantillon à l'exclusion de ces points

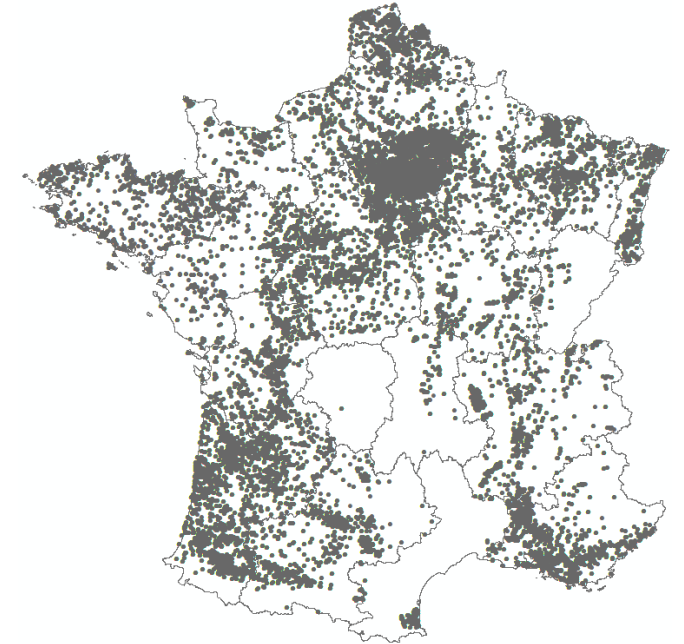
DIFFUSION DES DONNÉES DE TRT

- Diffusion publique des données : <https://www.geothermies.fr/viewer/>
- Diffusion des données ponctuelles issues des TRT après contrôle : Profondeur sonde, T_0 , λ_m , R_f mesurés
- Diffusion des cartes de T_0 interpolées (Données maillées de résolution 500 m) sur 3 classes de profondeur :
 - 0-50 m
 - 0-100 m
 - 0-200 m
- /!\ Ne se substitue pas à la réalisation d'un TRT pour un projet



ETIQUETTES ÉNERGIE DES SOLS – TRAVAUX EN COURS

- Introduction de la diversité lithologique sur la tranche 0-150m (via les Logs Validés (LGV))
- Influence de l'hydro(dynamique) en allant chercher la profondeur de la zone non saturée (disponible pour les aquifères sédimentaires)
- Cartographie de « favorabilité » de type étiquette énergétique
- Représentation spatiale de l'incertitude (manque de données, variabilité de la donnée...)



Carte de répartition des 16000 logs validés de 100m et plus disponibles dans la banque de données du sous-sol

REFERENCES BIBLIO

- Maragna, C., Baudouin, V., Guillon, T., Cavril, M., 2020. Projet ADEME-CARTODIM 2019-2020 : Collecte et bancarisation de tests de réponse thermique, développement d'une plateforme de dimensionnement d'échangeurs géothermiques. Rapport BRGM/RP-69797-FR.
- Maragna, C., Baudouin, V., Guillon, T., Cazal, J., 2021. Projet ADEME-CARTODIM 2020-2021 : Collecte et bancarisation de tests de réponse thermique, développement d'une plateforme de dimensionnement d'échangeurs géothermiques.



MERCI POUR VOTRE
ATTENTION

Vivien BAUDOUIN
v.baudouin@brgm.fr

