

NOTE ÉCONOMIQUE ET OPÉRATIONNELLE

Économie et adaptation de la géothermie

Massification théorique, adaptation opérationnelle, formations, personnel fiable et ROI 10–20 ans

Outil +EECM — du démonstrateur ville par ville au projet Adaptation du débit d'instruction français

11 septembre 2026 · François Dorléans · Note de travail destinée aux décideurs publics, collectivités et industriels de la chaleur

Économie et adaptation de la géothermie

François Dorléans

Document mis en forme et structuré avec l'assistance de Claude (Anthropic) ; analyse, sources, retour d'expérience et responsabilité éditoriale : François Dorléans, EngEthics Consulting.

Identifiant : EE-NOTE-EECM-2026-001

Révision : 2-C

Date : 11/09/2026

Mots-clés : géothermie, adaptation, massification, forage profond, ROI, ADEME, cadence industrielle, +EECM

1. Thèse en une page

La cessation commerciale de Celsius Energy (spin-off SLB, 2019–2026) n'est pas un échec de forage. C'est le diagnostic d'un marché trop mince, trop lent et trop exposé à l'instabilité des aides, alors même que la technique — forage en étoile transposé du pétrole — a déjà levé le verrou foncier urbain.

L'économie de la géothermie est simple : le forage concentre le capex ; l'exploitation concentre la rente. Tant que l'Europe reste en régime artisanal (peu de puits par an, équipes précaires, revues administratives de plusieurs mois), le coût au mètre ne descend pas, les formations ne s'amortissent pas et le personnel ne se fiabilise pas. La massification est donc le seul levier qui rend simultanément rentables les écoles de forage, stables les équipes et remarquable le ROI des maîtres d'ouvrage.

Rapportée à la France, cette équation appelle une clause de réalisme que la seule thèse de massification n'énonçait pas assez fermement. Une cadence de 300 à 500 forages par an, comparable à celle que l'opérateur national omanais fore chaque année, suppose un débit d'instruction administrative que la France n'atteint pas aujourd'hui : peu de dossiers déposés sont in fine approuvés, et ceux qui le sont franchissent des revues DREAL / ADEME / préfecture qui s'étalent sur plusieurs mois, parfois plus d'un an. Le goulot n'est donc plus, à ce stade, la ressource géologique ni la disponibilité des appareils : c'est le temps que prennent les dossiers pour sortir des services instructeurs. Afficher un objectif de cadence industrielle à l'omanaise sans agir d'abord sur ce débit revient à fixer un horizon inatteignable à court terme, et à décrédibiliser, par contrecoup, une filière qui a pourtant déjà démontré qu'elle savait forer proprement en milieu urbain.

Le projet qui en découle n'est donc plus seulement la massification : c'est l'adaptation. Adapter, ici, signifie ajuster délibérément la cadence de forage visée au débit réel d'instruction des dossiers, tout en agissant simultanément sur ce débit, plutôt que de promettre une cadence que l'appareil administratif ne peut pas absorber. La massification européenne (§8) reste l'horizon de moyen terme ; l'adaptation du débit d'instruction français (§5 et §6) en est la condition préalable de court terme.

Le projet +EECM (§7) sert à rendre l'équation économique lisible ville par ville : la dépense énergétique actuelle du parc immobilier est le prix payé, chaque année, pour l'absence de souveraineté. Le projet Adaptation en est le complément amont : il documente pourquoi la cadence administrative constitue aujourd'hui le verrou dominant, propose un protocole opérationnel simple pour le lever, et conditionne l'accès aux aides publiques à son adoption plutôt qu'à la seule taille du projet. L'investissement dans un système plus efficace et souverain se rembourse en moyenne en 10 à 20 ans — horizon compatible avec un mandat municipal, un bail tertiaire long et la durée de vie des sondes (40 à 80 ans) — à condition que le délai d'instruction ne vienne pas, lui-même, grever ce calcul (§9.3).

CONSTAT	VERROU	SORTIE
Marché trop lent. Celsius Energy arrête le commercial malgré une techno pétrolière éprouvée. Cadence technique visée (300–500 forages/an, référence Oman) très supérieure au débit réel d'instruction des dossiers en France.	Capex forage + instabilité des aides + délais DREAL/ADEME/préfecture (souvent ~18 mois en profond) + décision maître d'ouvrage allongée + absence de méthode de vérification fondée sur le terrain.	Adaptation du débit d'instruction (SOP conditionnant les aides, revues accélérées) puis Massification Europe. Cadence phasée, formations amorties, +EECM ville par ville, ROI 10–20 ans.

2. Leçon Celsius Energy — faits à reprendre

Source de référence : Valentin Hamon-Beugin, L'Usine Nouvelle, Paris, 10 septembre 2026. Compléments financiers et réalisations issus du dossier public et des comptes 2024.

2.1 Décision et diagnostic de marché

Filiale française de géothermie de surface, née en 2019 comme scission interne de SLB (Schlumberger). Arrêt de l'activité commerciale confirmé début septembre 2026 ; engagement de terminer les chantiers déjà contractés.

Cindy Demichel, présidente : « *Le marché de la géothermie ne décolle pas assez.* » Diagnostic d'insuffisance de marché, pas d'échec technique.

Même constat filtré dès mai 2026 chez GreenUnivers : trop peu de projets au regard du plan de marche ; délais trop longs pour les faire sortir de terre. Environ 100 salariés à reclasser progressivement dans SLB ou à licencier.

Comptes 2024 : CA 12,36 M€ (contre 7,03 M€ en 2023), perte nette 6,90 M€, capital social 33,01 M€. Continuation votée le 20 juin 2025 malgré des capitaux propres inférieurs à la moitié du capital. Siège transféré à Clamart (1, rue Henri Becquerel) le 22 octobre 2025.

2.2 Causes énoncées — pas la technique

Les mesures de soutien sectorielles des derniers mois n'ont pas compensé l'instabilité des aides publiques. Les clients potentiels reculent devant le coût d'investissement initial, essentiellement porté par le forage, même lorsque l'exploitation devient rentable sur le long terme.

En France, l'attentisme politique a, selon C. Demichel, doublé le temps de décision des maîtres d'ouvrage ; 2025 est qualifiée d'année « très compliquée ». Le Fonds chaleur ADEME, un temps menacé, a été maintenu, mais ses modalités d'emploi sont susceptibles de se durcir ; le Fonds vert des collectivités a failli disparaître, ce qui a figé des arbitrages.

Aux États-Unis, un « changement de paradigme » des politiques de durabilité des entreprises privées s'est opéré « de façon directe et brutale » ; l'administration favorise surtout la géothermie profonde à très haute température (électricité, datacenters), pas la géothermie de surface. Les canicules de l'été 2026 mettent en lumière le besoin de froid durable, mais « le regain d'intérêt ne se manifeste pas toujours par une prise de décision ».

2.3 Ce que la technique avait déjà résolu

Innovation distinctive : forage en étoile transposé de l'industrie pétrolière. Depuis un point unique, plusieurs forages inclinés se déploient en éventail jusqu'à environ 200 m, dans une roche à 12–15 °C, avec sondes en double U et fluide caloporteur en boucle fermée. Emprise au sol divisée par 10 par rapport à un champ de sondes verticales classiques, parfois ramenée à une vingtaine de mètres carrés — intervention possible au pied d'un immeuble existant.

Réalisations citées : nouvel atelier Framatome du Creusot (internes de cuves EPR2) ; boucle de Ferney-Voltaire / Pays de Gex (173 puits jusqu'à 230 m, 40 km de forages, 30 M€, récupération de chaleur fatale du CERN) ; résidence sociale Le Vulcain à Nîmes (133 logements) ; siège Banque Populaire Auvergne Rhône-Alpes à Corenc (7 680 m²). Opérations également au Royaume-Uni et aux États-Unis.

Conclusion opérationnelle : la technologie réduisait un vrai verrou foncier urbain. Elle n'a pas surmonté le couple coût d'entrée élevé + instabilité des dispositifs d'aide, qui allonge les cycles de décision au-delà de la capacité d'une filiale encore en phase d'industrialisation.

3. Économie générale de la géothermie

3.1 Trois étages, une même physique

Étage	Profondeur / T	Usage	Ordre de coût	Durée actif
Surface (GMI / sondes / nappe)	15–200 m · 12–20 °C	Chauffage + froid PAC eau/eau	50–160 €/ml forage ; 15–55 k€ maison ; M€ collectifs	Sondes 40–80 ans · PAC 20–25 ans
Profonde calogène	800–2 000 m · 40–90 °C (Dogger, etc.)	Réseaux de chaleur urbains	Doublet : 2–5 M€+ par forage	Puits 30–40 ans+ · centrale 25–40 ans
Profonde électrogène / EGS / HTH	> 2 000 m · > 120–350 °C	Électricité, process, datacenters	Capex industriel lourd	Actif long, LCOE déjà ~60 \$/MWh dans les meilleurs cas

Conventions d'unités et de coûts au mètre : Formulaire du foreur, IFP, ISBN 2-7108-0560-X. Gradient typique Europe de l'Ouest ≈ 3 °C / 100 m. COP PAC géothermique 4 à 5 (JAZ 3,5–5) contre 2,5–3,5 aérothermie.

3.2 Structure de coût — le forage est le goulot

Sur une installation de surface, le forage + sondes représente souvent 35 à 55 % du capex. Sur un doublet profond, il en représente la quasi-totalité du risque géologique et une part majoritaire du capex. C'est pourquoi Cindy Demichel a raison de pointer le coût d'entrée, et pourquoi toute politique qui traite le forage comme un « accessoire BTP » manque la cible.

Poste (surface, collectif/tertiaire)	Part capex typique	Levier de baisse
Forage + cimentation + sondes double U	35–55 %	Cadence, standardisation Ø, multi-puits, étoile, automatisation
PAC eau/eau + hydraulique + régulation	25–40 %	Séries industrielles européennes, CEE BAR-TH-178 / BAT-TH-162
Études, TRT, AMO, assurances	8–15 %	Dossiers types, SOP, mutualisation inter-communes
Génie civil, local technique, raccordements	10–20 %	Emprise réduite (étoile), intervention en site occupé

3.3 Compte d'exploitation — où se gagne le ROI

L'exploitation inverse le rapport. Une fois le trou foré, le kWh thermique sort à un coût marginal bas, local, non importé, non exposé au TTF gaz. Le COP 4–5 divise par quatre à cinq l'électricité consommée par rapport à un effet Joule, et par deux environ par rapport à une PAC air/eau en hiver rigoureux. Les sondes survivent à deux générations de PAC.

Grandeur	Fossile/importé (réf.)	Géothermie souveraine	Effet
Coût d'énergie annuel (collectif type)	Gaz / fioul volatil	Électricité $\times 1/\text{COP}$ + O&M faible	–30 à –70 % selon tarif et JAZ
Durée de vie échangeur	15–20 ans chaudière	40–80 ans sondes / puits	Capex forage amorti 2 fois
Souveraineté	Import gaz, prix TTF	Ressource sous le bâtiment	Facture interne au territoire
Froid d'été	Clim air/air (rejet urbain)	Géo-cooling / PAC réversible	Canicules 2026 = argument économique
Horizon de retour	Opex perpétuel	10–20 ans en moyenne	Compatible mandat / bail / dette verte

Ordres de grandeur documentés : maison individuelle, forage 50–160 €/ml, installation médiane ~22,5 k€ avant aides ; collectifs et tertiaires : 1 000–1 500 €/kW sondes verticales. Réseaux profonds : temps de retour souvent

7–13 ans quand le gisement est au rendez-vous. Étude AFPG climatisation : VAN positive ~875 M€ sur 50 ans pour un scénario Paris. Pays-Bas : ATES ~118 €/MWh vs gaz 162 €/MWh dans une fenêtre de prix haute — la France surface a longtemps affiché ~143 €/MWh sans subvention, d'où le rôle du Fonds chaleur.

3.4 Objectifs publics vs réalité de cadence

PPE3 : 10 TWh de chaleur de surface et 6 TWh de chaleur profonde en 2030 (contre 4,8 et 2,2 TWh en 2025). Plan d'action national : viser 6 000 PAC individuelles et 1 000 opérations collectif-tertiaire par an en surface ; +40 % d'opérations profondes pour atteindre au moins 110 en fonctionnement via les projets lancés avant 2030. Production 2023 : ~4,7 TWh surface + 2,3 TWh profonde, soit ~1 % de la chaleur finale française. L'écart PPE n'est pas un problème de ressource. C'est un problème de cadence de puits, de dossiers et d'équipes.

Ce triple goulot n'a pas le même poids. Le retour d'expérience de terrain rassemblé en §6 fait apparaître le dossier — et non le puits ni l'équipe — comme le facteur aujourd'hui dominant : une revue de dossier conduite avec une compétence de terrain réelle se règle en heures, quand l'instruction administrative correspondante s'étale en mois.

4. Recapitulatif de géoénergie

On rassemble ici les « chats techniques » utiles au décideur de géoénergie: unités, cadences, coûts au mètre, cimentation, emprise.

4.1 Données de base — surface

Paramètre	Symbole / unité	Ordre de grandeur
Gradient géothermique moyen	Γ (°C/100 m)	≈ 3,0 (bassin parisien 3–3,5)
T à 150–200 m	T_f (°C)	12–15 (boucle fermée)
Longueur sonde unitaire	L (m)	80–230 selon charge et λ roche
Puissance extractible indicative	q (W/m)	35–55 W/m (TRT obligatoire au-delà d'un seuil)
Sonde	—	Double U PEHD, fluide eau glycolée, circuit fermé
Emprise champ vertical classique	S (m ²)	Décamètres à hectares selon n
Emprise forage en étoile	S* (m ²)	÷10 · parfois ≈ 20 m ² au pied d'immeuble
Coût linéaire forage + sonde	c (€/ml)	50–160 · médiane ≈ 105 (2025)
Protection aquifère potable (Albien...)	—	Double étage de cimentation ; surcoût réel

4.2 Données de base — profond calogène (Dogger / Bathonien type)

Paramètre	Symbole / unité	Ordre de grandeur
Cible bassin parisien	z (m)	1 500–2 000 (Dogger / Bathonien)
Température fluide	T (°C)	55–85 selon secteur
Architecture	—	Doublet producteur / injecteur
Risque géologique	—	Productivité, réinjectabilité, corrosion, scaling
Capex forage unitaire	€	Plusieurs M€ ; 2–5 M€+ le doublet selon contexte
Mud logging / géologie de puits	—	Indispensable ; pas un luxe ISO
Durée cycle administratif	mois	Souvent > cycle industriel d'une PME

4.3 Cadence — la variable qui fixe le prix

Références de forage pétrolier que la filière géothermique française n'a pas encore importées comme norme de production : Oman PDO, 300 à 500 puits/an ; Australie, appareils automatisés sur commandes fermes 24 mois. En France géothermie, on reste en régime de chantier isolé, équipes nomades, 100 heures et plus par mois, hébergement précaire, métiers de base (aide-foreur, accrocheur, surfacier, technicien boue, mud logger, géologue de terrain, foreur) non revalorisés. Résultat mécanique : le coût au mètre intègre le temps mort, le turn-over et l'absence d'apprentissage cumulatif (learning curve).

Une massification européenne — carnets de commandes pluriannuels, SOP uniques, revues de dossiers en heures et non en mois — est le seul moyen de faire descendre c (€/ml) tout en montant la qualité. C'est aussi le seul moyen d'amortir une école de forage : une promotion n'est rentable que si les mètres forés ensuite existent vraiment.

Ces références de cadence pétrolière restent un horizon utile pour calibrer un objectif de moyen terme ; elles ne sont pas, en l'état du débit d'instruction français, un objectif de court terme. Le projet Adaptation (§5) précise comment phaser la montée en cadence sans reproduire l'écart entre discours et réalité déjà payé par Celsius Energy — et sans attendre, pour le corriger, qu'un scandale l'impose (§6.5).

5. Projet Adaptation — de la cadence théorique à la cadence instruisable

5.1 Pourquoi l'adaptation précède la massification

Comparer directement la France à Oman ou à l'Australie a une limite qu'il faut nommer : PDO est un opérateur national unique, intégré, qui maîtrise à la fois le foncier, le sous-sol et l'instruction de ses propres programmes de forage. La filière géothermique française, elle, additionne une multitude de maîtres d'ouvrage, de bureaux d'études et d'entreprises de forage, chacun devant obtenir séparément l'aval de plusieurs autorités (DREAL ou DRIEAT selon la région, ADEME, préfecture), sans guichet unique ni délai encadré. Le nombre de dossiers déposés reste faible, et la part effectivement approuvée dans un délai compatible avec un calendrier industriel l'est plus encore. Se fixer 300 à 500 forages par an comme objectif de filière, sans avoir d'abord réglé ce débit, revient à annoncer une cadence que l'administration elle-même ne peut pas absorber — et à répéter, à l'échelle du pays, l'écart entre ambition affichée et réalité d'exécution que Celsius Energy a déjà payé cash à l'échelle d'une entreprise (§2).

5.2 Le débit d'instruction comme variable de pilotage

Le Formulaire du foreur traite le coût au mètre (c , €/ml) comme la variable qui fixe le prix (§4.3). L'adaptation propose de traiter, à côté d'elle, le débit d'instruction — le nombre de dossiers réellement approuvés par mois et par autorité instructrice — comme une variable de pilotage à part entière, suivie et publiée au même titre. Cette variable n'est aujourd'hui documentée par aucun tableau de bord public connu de l'auteur ; elle se déduit, au mieux, des délais moyens rapportés au cas par cas par les porteurs de projet. La rendre visible est la première étape d'une politique d'adaptation : on ne pilote pas ce qu'on ne mesure pas, et un débit d'instruction publié devient, pour l'administration elle-même, un objectif de performance au même titre qu'un objectif de TWh installés.

5.3 Un protocole opérationnel simple, non punitif, conditionnant les aides

L'expérience de terrain rassemblée en §6 converge vers une recommandation unique, déjà formulée aux autorités compétentes (§6.5) : plutôt qu'une couche de conformité ISO supplémentaire, chaque entreprise de la chaîne contractuelle — du maître d'œuvre jusqu'au dernier opérateur de chantier — devrait afficher et suivre un plan d'amélioration continue simple, construit sur le standard opérationnel de forage déjà utilisé par l'industrie pétrolière (référentiel API, une quarantaine de critères), plutôt que sur une transposition ISO alourdie. L'audit

correspondant partirait du plan du maître d'œuvre et descendrait la chaîne de sous-traitance, conduit par une autorité réellement indépendante de la filière. La conditionnalité proposée n'est pas une sanction : elle réserve le bénéfice des aides ADEME et des autres soutiens publics aux opérateurs qui acceptent d'afficher ce plan et de le suivre. Sans ce levier, la recommandation reste facultative face à des pratiques déjà installées.

5.4 Une preuve de concept sur la vitesse de revue

Une revue complète des archives d'un dossier de géothermie profonde, conduite par une personne disposant d'une expérience opérationnelle réelle de chantier, a été menée en quatre heures dans le cadre du retour d'expérience transmis aux autorités compétentes (§6.5), contre un délai d'instruction courant de l'ordre de dix-huit mois pour ce type de dossier. Cette revue a fait apparaître des certifications obsolètes reproduites d'un dossier à l'autre par simple copier-coller, sans vérification de fond. L'écart entre ces deux durées — quatre heures contre dix-huit mois — n'est pas un écart de complexité technique ; c'est un écart de méthode. Un examinateur qui combine compétence administrative et passage sur chantier détecte en heures ce qu'une revue purement documentaire ne détecte pas en mois. C'est cette méthode, généralisée, que le projet Adaptation propose de faire porter la montée en cadence — avant, et non après, l'annonce d'objectifs de type Oman.

6. État de l'art — pertinence économique du forage profond et retour d'expérience de terrain

6.1 Ce que l'état de l'art économique retenait déjà

Sur un doublet profond, le forage concentre la quasi-totalité du risque géologique et une part majoritaire du capex (§3.2). La littérature de filière (AFPG, Cour des comptes janvier 2026, EGEN, Ember Energy) documente un temps de retour de 7 à 13 ans quand le réservoir répond, et un LCOE déjà compétitif pour l'EGS dans les meilleurs cas (~60 \$/MWh). Cette note ajoute à cet état de l'art une ligne que les modèles de payback usuels omettent : le coût du délai d'instruction lui-même.

6.2 Le coût économique du délai d'instruction

Un capex forage immobilisé pendant dix-huit mois d'instruction porte un coût de portage — intérêts intercalaires, inflation des postes matériel et main-d'œuvre, prime de risque additionnelle exigée par le prêteur — qui n'apparaît dans aucune des bornes de payback du §9.2. Ce coût repousse mécaniquement le seuil de rentabilité affiché, et il s'ajoute à un second effet, moins visible : un dossier suspendu dix-huit mois immobilise aussi l'équipe qui l'a préparé, ce qui interrompt la courbe d'apprentissage (§4.3) et renchérit le mètre suivant. Le délai d'instruction n'est donc pas neutre pour l'économie du forage profond : c'est une variable de sensibilité supplémentaire, au même titre que le prix du gaz, le prix de l'électricité ou le COP réel (§9.1).

6.3 Un mécanisme de contournement qui pèse sur la fiabilité du personnel

Le retour d'expérience de terrain transmis aux autorités compétentes (§6.5) documente un mécanisme structurel plutôt qu'un cas isolé : lorsqu'un contrat à durée déterminée s'interrompt faute de dossier suivant disponible, des consultants sous statut d'auto-entrepreneur — parfois en situation précaire, non soumis aux mêmes visites médicales obligatoires — peuvent rester sur le chantier, financés en partie par des dispositifs d'aide publique, quand les salariés en CDD sont les premiers arrêtés. Ce mécanisme ne procède pas d'une volonté délibérée de nuire de la part d'un employeur en particulier ; il révèle une faille structurelle dans la manière dont le statut contractuel, plutôt que la compétence ou la conformité réelle, détermine qui reste sur le chantier. Économiquement, il produit l'inverse de la fiabilisation du personnel décrite en §8.3 : plus de turn-over, plus de variance, donc un WACC de projet plus élevé que celui qu'affiche un dossier théorique.

6.4 Allocations ADEME : un dispositif qui touche finalement peu les conditions de terrain

Tel qu'il est aujourd'hui structuré, le soutien de l'ADEME finance des opérateurs et des projets ; il atteint rarement les conditions concrètes de travail de ceux qui réalisent les forages à prix tirés. Les recommandations préfectorales de précaution en période de forte chaleur, pourtant publiées, ne se traduisent pas systématiquement sur les chantiers. Il existe ainsi un double niveau de dispositif — l'un administratif et financier, l'autre opérationnel et humain — qui ne se rencontrent pas. La conditionnalité proposée en §5.3 vise précisément à faire converger ces deux niveaux, sans alourdir le dispositif d'une couche de conformité supplémentaire.

6.5 Portée et origine de ce retour d'expérience

Les constats des §5.4 et §6.2 à §6.4 synthétisent un retour d'expérience de terrain conduit par l'auteur sur des chantiers français de géothermie entre 2024 et 2026, d'abord comme aide-foreur certifié GMI sur des puits de 15 à 200 mètres, puis comme mud logger sur des forages profonds ciblant les formations du Dogger et du Bathonien. Ce retour d'expérience a été porté, au premier semestre 2026, à la connaissance des services du Premier ministre, qui l'ont orienté vers le ministère compétent en matière d'Énergie pour examen ; une correspondance de suivi a été adressée à ce ministère début septembre 2026. Par souci de confidentialité et à la demande de l'auteur, cette correspondance n'est pas citée ici nommément ni par ses références internes : seuls les constats de fond, anonymisés, en sont repris dans la présente note.

7. Le projet +EECM — démonstrateur ville par ville

7.1 Objet

+EECM (Évaluation Énergétique des Consommations Municipales / Massification) est un outil de démonstration, commune par commune et intercommunalité par intercommunalité. Il ne remplace pas BatEnR (Cerema / ADEME / DGEC) ni EnRezo. Il traduit la facture réelle du parc immobilier — résidentiel, tertiaire, public, social — en un prix annuel payé pour l'absence de souveraineté énergétique.

Principe : l'énergie dépensée dans l'immobilier (chauffage, ECS, froid) est déjà un flux monétaire sortant. Ce flux est la meilleure approximation du « loyer énergétique » que la ville verse à des chaînes d'approvisionnement qu'elle ne contrôle pas. +EECM met en regard ce loyer et le service rendu par un système souverain plus efficace (géothermie de surface, nappe, profond, boucles d'écoquartier, récupération de chaleur fatale). Le projet Adaptation (§5) en est le complément amont : sans amélioration du débit d'instruction, le chemin de cash-flow que +EECM promet ville par ville reste soumis au même aléa administratif que documente le §6.

7.2 Ce que l'outil calcule, ville à ville

Bloc	Entrée	Sortie utile au maire / DGS
Parc immobilier	m ² , DPE, usages, mix actuel (gaz, fioul, elec Joule, RCU)	Facture annuelle € et MWh du territoire
Prix sans souveraineté	Tarifs gaz / elec / fioul + volatilité 5–10 ans	« Loyer énergétique » €/an et €/hab
Gisement géo	Sondes, nappe, profond, fatale (CERN, process, data)	Potentiel MWh et capex forage associé
Scénario souverain	PAC géo, RCU, boucle fermée, étoile urbaine	Opex cible, t CO ₂ évitées, emplois locaux
Banque ROI	Aides (Fonds chaleur, CEE x5, Fonds vert), dette, inflation énergie	Payback 10–20 ans · VAN 25 et 40 ans

7.3 Message économique à faire passer

Un maître d'ouvrage qui « attend une aide plus stable » continue de payer, chaque hiver et chaque canicule, le prix plein de la non-souveraineté. L'attentisme n'est pas neutre : il capitalise une facture. +EECM rend ce coût d'attente visible. C'est précisément le mécanisme décrit par Cindy Demichel — le regain d'intérêt sans prise de décision — que l'outil doit casser, dossier par dossier, conseil municipal par conseil municipal.

Cible de rentabilité : 10 à 20 ans en moyenne pour passer d'un système importé peu efficace à un système souverain plus efficace. Cet intervalle correspond au temps de retour observé sur les opérations collectives et réseaux bien dimensionnés (souvent 7–13 ans en profond quand le réservoir répond, 12–20 ans en surface hors aides maximales), à une à deux mandatures municipales, à la première vie de la PAC alors que l'échangeur souterrain continue, et à un horizon de dette verte et de contrats de performance énergétique.

7.4 Articulation avec les outils publics existants

BatEnR caractérise, bâtiment par bâtiment, le potentiel EnR thermique (réseau, nappe, sondes, solaire thermique, bois, PAC air). +EECM s'en nourrit et ajoute la couche que le décideur demande vraiment : le prix aujourd'hui payé sans souveraineté, et le chemin de cash-flow jusqu'au ROI. Les fiches CEE BAR-TH-178 (résidentiel collectif) et BAT-TH-162 (tertiaire), bonifiées $\times 5$ jusqu'en 2030, doivent être intégrées d'office dans le moteur financier, de même que le Fonds chaleur et, pour les collectivités, le Fonds vert lorsqu'il est ouvert.

8. Massification en Europe — rentabiliser les formations, fiabiliser le personnel

8.1 Pourquoi l'échelle doit être européenne

Un marché national trop étroit tue les industrialisations naissantes — Celsius Energy en est la preuve comptable (CA en hausse, pertes persistantes, arrêt commercial). L'Europe a le sous-sol, les bassins sédimentaires, le savoir forage pétrolier et un objectif EGEN : jusqu'à 25 % de la demande de chaleur et de froid. Ember Energy (2026) estime ~43 GW de potentiel EGS sous 100 €/MWh dans l'UE (Hongrie, Pologne, Allemagne, France en tête). Rester en 27 régimes d'autorisation et 27 régimes d'aides, c'est choisir de ne jamais descendre le coût au mètre.

La massification n'est pas « plus de subventions ». C'est un carnet de commandes pluriannuel assez épais pour faire tourner les appareils et les équipes 200 jours ou plus par an au lieu de les déplacer de chantier en chantier, standardiser les Ø, les programmes de cimentation, les sondes, les SOP, amortir les écoles (EFF / GRETA / BRGM / Régions / France Travail) sur des mètres réellement forés, et fixer le personnel — le contraire de la précarité actuelle des métiers de base.

8.2 Formations : condition de rentabilité

Une session aide-foreur GMI (15–200 m) ou une montée mud logger / Dogger n'a de sens économique que si le diplômé enchaîne des mètres. Sinon l'école forme pour le chômage ou pour l'export des compétences. La massification est donc un investissement dans le capital humain autant que dans le sous-sol.

Levier formation	Effet économique	Condition
Promotions alignées sur carnets 24 mois	Taux de placement élevé, coût unitaire de formation ↓	Commandes fermes collectivités / bailleurs / industrie
SOP unique de forage (anti-obfuscation ISO)	Moins d'accidents, moins de non-qualité, revues rapides	Adoption filière + conditionnalité des aides (§5.3)
Passage terrain des instructeurs et des réviseurs	Écart plan / réalité détecté en heures, pas en mois	Présence chantier obligatoire pour les revues DREAL/ADEME

Levier formation	Effet économique	Condition
Revalorisation métiers de base	Fidélisation, moins de turn-over, ROP et sécurité ↑	Cadence industrielle + hébergement décent
Transfert O&G → géo (étoile, inclinés, cimentation)	Moins de R&D inutile, plus de mètres	Ne pas relancer ce que SLB a déjà industrialisé

8.3 Personnel fiable = actif, pas charge

Sur un puits, la non-qualité se paie au mètre : mauvaise cimentation d'un étage Albien, sonde pincée, déviation hors cible, boue mal tenue, rapport de fin de puits incomplet. Un personnel formé, stable, travaillant sous SOP, réduit la variance. La variance est ce que le banquier et l'assureur facturent. Fiabiliser le personnel, c'est donc baisser le WACC des projets autant que le capex technique — et c'est l'inverse exact du mécanisme de contournement documenté en §6.3.

8.4 Goulots à traiter en même temps que le marché

Les métiers de base ne sont pas le seul goulot. Le second est la lourdeur de revue des dossiers (DREAL, ADEME, préfecture) qui s'étale sur plusieurs mois. L'expérience de terrain montre qu'une revue d'archives, faite par quelqu'un qui a tenu le chantier, tient en quelques heures — et fait apparaître des copier-coller de certifications périmées (§5.4). Si les réviseurs se présentaient sur le puits, l'écart dossier / réalité serait immédiat. Le protocole SOP de forage décrit en §5.3, prouvé terrain, compatible avec les normes existantes, doit devenir la base de la traçabilité réelle. Les aides publiques (ADEME et autres) peuvent y être conditionnées : on ne finance plus l'obfuscation.

9. ROI remarquable — cadrage 10–20 ans

9.1 Règle de calcul

On pose, pour un territoire ou un bâtiment : Payback simple $\approx$ Capex net (après Fonds chaleur, CEE $\times 5$, Fonds vert, ANAH) / (Facture actuelle – Opex géo – maintenance).

$VAN\ 25\ ans = -Capex\ net + \sum_t (économie_t - O\&M_t - renouvellement\ PAC) / (1+r)^t$, avec r = taux d'actualisation public ou WACC bailleur. Sensibilité obligatoire au prix du gaz, au prix de l'électricité, au COP réel (pas au COP catalogue) et, désormais, au délai d'instruction administrative (§6.2).

9.2 Bornes observées

Typologie	Capex net indicatif	Économie annuelle	Payback cadre
Maison individuelle (après aides)	2–25 k€ selon revenus / nappe	0,8–2 k€	8–20 ans
Collectif / social (Vulcain type)	Part forage + PAC, Fonds chaleur	Chauffage + froid, –fioul/gaz	10–18 ans
Tertiaire / siège / usine	1–4 k€/kW selon sondes / nappe	Process + confort + froid	8–16 ans
Réseau profond / SAS (Géomy type)	M€, dette longue, EnR 75 %	9 000 eq. logements possibles	7–13 ans si réservoir OK
Boucle écoquartier / fatale (Gex / CERN)	30 M€ pour 40 km forés (cas)	Chaleur + fatale industrielle	Horizon mandat / DSP

Fourchettes indicatives, hors cas pathologiques (mauvais TRT, sous-dimensionnement, aides interrompues en cours de route). L'objectif +EECM n'est pas de promettre 7 ans à tout le monde ; il est de montrer que 10–20 ans est la médiane d'un système souverain bien posé.

9.3 Ce qui fait basculer de 20 ans à 10 ans

Cadence de forage → -20 à -40 % sur c (€/ml) à l'échelle d'un programme pluriannuel (learning curve pétrolière). Stabilité des aides sur 5 ans plutôt que stop-and-go (leçon Celsius / Fonds chaleur / Fonds vert). Revues administratives en semaines, pas en saisons de chauffe perdues. Froid d'été valorisé (canicules 2026) : le même échangeur sert deux saisons. Mutualisation inter-bâtiments (boucle, RCU, SAS avec collectivité actionnaire). Personnel stable → moins d'aléas, assurance et dette moins chères.

Le §6.2 chiffre le mécanisme économique du levier « revues administratives en semaines » : chaque mois d'instruction évité réduit directement le coût de portage du capex forage, et raccourcit le payback plus sûrement qu'aucun autre levier isolé — parce qu'il agit à la fois sur le capex et sur la stabilité de l'équipe qui le met en œuvre.

10. Recommandations opérationnelles

- R1.** Traiter Celsius Energy comme un signal de marché, pas comme une anecdote techno. La technique étoile doit être reprise, pas abandonnée avec la filiale.
- R2.** Phaser la cadence de forage sur le débit réel d'instruction administrative (projet Adaptation, §5), plutôt que d'afficher un objectif de cadence industrielle non atteignable à court terme.
- R3.** Publier et suivre le débit d'instruction — dossiers approuvés par mois et par autorité — comme indicateur de pilotage, au même titre que le coût au mètre (§5.2).
- R4.** Lancer +EECM sur un premier échantillon de villes (mix social, tertiaire, industriel, RCU existant) pour publier le « loyer énergétique sans souveraineté » et le chemin 10–20 ans.
- R5.** Conditionner Fonds chaleur / CEE / Fonds vert à l'adoption d'un plan d'amélioration continue fondé sur le standard opérationnel API (une quarantaine de critères), tracé et vérifiable sur chantier — et non à une couche ISO supplémentaire.
- R6.** Stabiliser les aides sur un plan quinquennal affiché. L'instabilité double le temps de décision ; c'est documenté.
- R7.** Passer les revues DREAL/DRIEAT / ADEME / préfecture en régime de cadence : présence terrain des réviseurs, archives relues en heures, certificats périmés rejetés.
- R8.** Dimensionner les écoles de forage sur des carnets européens 24 mois (collectivités, bailleurs, industrie, RCU). Pas de promotion sans mètres aval.
- R9.** Revaloriser les métiers de base et l'hébergement de chantier, et sécuriser la continuité contractuelle des équipes en CDD, pour réduire le recours à des statuts moins protecteurs sous tension de calendrier (§6.3).
- R10.** Porter la massification à l'échelle européenne (Action Plan géothermie, harmonisation Ø et autorisations, commandes groupées) pour que le coût au mètre baisse vraiment.
- R11.** Intégrer le froid d'été et le coût du délai d'instruction dans tous les business plans. Ni l'un ni l'autre n'est un à-côté ; ce sont des lignes de recettes évitées ou de surcoût direct.

11. Synthèse pour le décideur

La géothermie n'a pas un problème de physique. Elle a un problème d'échelle, de temps de décision — et, en France plus qu'ailleurs, un problème de débit d'instruction administrative. Celsius Energy l'a payé cash : techno juste, marché trop lent, aides instables, capex forage non socialisé par la cadence. L'Europe peut inverser la courbe si elle cesse de traiter chaque puits comme un prototype administratif ; la France, plus spécifiquement, ne pourra viser une cadence de type Oman qu'après avoir résolu le débit d'instruction qui l'en sépare aujourd'hui.

Adapter, c'est donc la première étape : ajuster la cadence visée au débit réel d'approbation, conditionner les aides à un protocole opérationnel simple et vérifiable, faire du délai d'instruction une variable de pilotage suivie.

Massifier reste l'étape suivante : rentabiliser les formations, fiabiliser le personnel et faire tomber le coût au mètre, à l'échelle européenne. +EECM sert à démontrer, ville par ville, où se paie encore la facture de l'absence de souveraineté. Objectif de place : un système souverain plus efficace, remboursé en 10 à 20 ans en moyenne, sondes encore là 40 ans après — et un débit d'instruction qui ne vient plus, entre-temps, grever ce calcul.

Références

- Hamon-Beugin V.** — L'Usine Nouvelle, 10 septembre 2026 (Celsius Energy / C. Demichel). <https://www.usinenouvelle.com>
- PPE3** — Programmation pluriannuelle de l'énergie, ministère chargé de l'Énergie. <https://www.ecologie.gouv.fr>
- AFPG** — Association Française des Professionnels de la Géothermie, études de filière. <https://afpg.asso.fr>
- Cour des comptes** — Soutiens publics à la géothermie, janvier 2026. <https://www.ccomptes.fr>
- EGEC** — European Geothermal Energy Council, 2026. <https://www.egec.org>
- Ember Energy** — Estimations de potentiel EGS en Europe, 2026. <https://ember-energy.org>
- Cerema** — BatEnR — potentiel EnR thermique du bâti. <https://www.cerema.fr>
- IFP** — Formulaire du foreur, ISBN 2-7108-0560-X.
- ADEME** — Aides à la géothermie. <https://www.ademe.fr>
- PDO** — Petroleum Development Oman, données de production annuelle de puits. <https://www.pdo.co.om>
- Retour d'expérience de terrain** — Correspondance transmise aux services du Premier ministre puis au ministère chargé de l'Énergie, 2026 — source anonymisée à la demande de l'auteur, non publiée.

Définition des acronymes

- ADEME** — Agence de la transition écologique.
- AFPG** — Association Française des Professionnels de la Géothermie.
- AMO** — Assistance à Maîtrise d'Ouvrage.
- API** — American Petroleum Institute — référentiel de standards opérationnels du forage.
- ATES** — Aquifer Thermal Energy Storage — stockage thermique en aquifère.
- BRGM** — Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
- CDD** — Contrat à durée déterminée.
- CEE** — Certificats d'Économies d'Énergie.
- COP** — Coefficient de performance.
- DGEC** — Direction Générale de l'Énergie et du Climat.
- DREAL** — Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement.
- DRIEAT** — Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports (Île-de-France).
- EECM** — Évaluation Énergétique des Consommations Municipales / Massification.
- EGEC** — European Geothermal Energy Council.
- EGS** — Enhanced Geothermal Systems — géothermie profonde stimulée.
- GMI** — Géothermie de minime importance.
- GRETA** — Groupement d'établissements pour la formation continue.
- HTH** — Haute température.
- ISO** — International Organization for Standardization.
- JAZ** — Jahresarbeitszahl — coefficient de performance annuel réel.
- LCOE** — Levelized Cost Of Energy — coût actualisé de l'énergie.
- PAC** — Pompe à chaleur.
- PDO** — Petroleum Development Oman.

PPE3 — Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (3^e édition).

RCU — Réseau de chaleur urbain.

ROI — Return On Investment — retour sur investissement.

SLB — Schlumberger.

SOP — Standard Operating Procedure — procédure opérationnelle standard.

TRT — Thermal Response Test — test de réponse thermique.

TTF — Title Transfer Facility — indice de référence gazier.

VAN — Valeur Actuelle Nette.

WACC — Weighted Average Cost of Capital — coût moyen pondéré du capital.

Index

1. Thèse en une page	3
2. Leçon Celsius Energy — faits à reprendre	3
3. Économie générale de la géothermie	5
4. Recapitulatif de géoénergie	6
5. Projet Adaptation — de la cadence théorique à la cadence instruisable	7
6. État de l'art — pertinence économique du forage profond et retour d'expérience de terrain	8
7. Le projet +EECM — démonstrateur ville par ville	9
8. Massification en Europe — rentabiliser les formations, fiabiliser le personnel	11
9. ROI remarquable — cadrage 10–20 ans	12
10. Recommandations opérationnelles	13
11. Synthèse pour le décideur	13
Références	14
Définition des acronymes	14
Index	16