



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,  
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

**Rapport final** 1. Décembre 2007

---

# **PROGEOTHERM - PROGRAMME NATIONAL DE DÉVELOPPEMENT DE LA GÉOTHERMIE EN SUISSE**

---

**Mandant:**

Office fédéral de l'énergie OFEN  
Programme de recherche Géothermie  
CH-3003 Berne  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Mandataire:**

Groupe de travail PROGEOTHERM c/o  
CENTRE DE RECHERCHE EN GEOTHERMIE CREGE  
Rue Emile-Argand 11  
CH-2009 Neuchâtel  
[www.crege.ch](http://www.crege.ch)

**Auteur:**

François-D. Vuataz, CREGE

**Responsable de domaine de l'OFEN:** Gunter Siddiqi

**Chef de programme de l'OFEN:** Rudolf Minder

**Numéro du contrat et du projet de l'OFEN:** 152'785 / 102'203

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

# PROGEOTHERM - Programme national de développement de la géothermie en Suisse

## Sommaire

RESUME .....	5
ZUSAMMENFASSUNG .....	6
SOMMAIRE ETENDU .....	7
KURZFASSUNG .....	13
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>19</b>
1.1 SITUATION DE LA GEOTHERMIE EN SUISSE .....	19
1.2 BESOINS POUR UNE FILIERE DE LA GEOTHERMIE .....	21
1.3 PROPOSITION POUR UN PROGRAMME NATIONAL DE DEVELOPPEMENT DE LA GEOTHERMIE .....	22
1.4 ETAPES DU MANDAT .....	22
1.5 ÉQUIPE DE PROJET .....	23
<b>2. OBJECTIF DU PROGRAMME PROGEOTHERM .....</b>	<b>24</b>
<b>3. CONTENU DU PROGRAMME .....</b>	<b>26</b>
3.1 FORMATION SPECIALISEE DANS LES HAUTES ECOLES .....	27
3.1.1 <i>Master of Advanced Studies (MAS) en géothermie</i> .....	27
3.1.2 <i>Formation dans les hautes écoles spécialisées (HES)</i> .....	28
3.2 RECHERCHE & DEVELOPPEMENT .....	29
3.2.1 <i>Introduction</i> .....	29
3.2.2 <i>Objectifs généraux de la recherche en géothermie</i> .....	31
3.2.3 <i>Besoins généraux du domaine Recherche &amp; Développement</i> .....	32
3.2.4 <i>Priorités pour le domaine R&amp;D du programme PROGEOTHERM</i> .....	35
3.2.5 <i>Budget du domaine Recherche &amp; Développement</i> .....	41
3.3 PILOTE & DEMONSTRATION (P&D) .....	44
3.3.1 <i>Introduction</i> .....	44
3.3.2 <i>Problématique actuelle et justification du domaine P&amp;D</i> .....	45
3.3.3 <i>Objectifs du domaine P&amp;D</i> .....	46
3.3.4 <i>Filières géothermiques considérées par le domaine P&amp;D</i> .....	47
3.3.5 <i>Tâches prévues dans le domaine P&amp;D</i> .....	49
3.3.6 <i>Structure et fonctionnement du domaine P&amp;D</i> .....	50
3.3.7 <i>Programme et budget prévisionnels pour la période 2008-2015</i> .....	53
3.4 POLITIQUE, FINANCE ET INFORMATION .....	56
3.4.1 <i>Politique</i> .....	56
3.4.2 <i>Finance</i> .....	57
3.4.3 <i>Information</i> .....	58
3.4.4 <i>Budget du domaine Politique, Finance et Information</i> .....	60
<b>4. ORGANISATION DU PROGRAMME PROGEOTHERM .....</b>	<b>61</b>
<b>5. BUDGET GENERAL .....</b>	<b>63</b>

<b>7. ANNEXES</b>	<b>65</b>
<i>Annexe 1 : Projet de Master of Advanced Studies (MAS) en géothermie</i>	66
<i>Annexe 2 : Systèmes géothermiques et état de leur développement technologique</i>	70
<i>Annexe 3 : Tâches prévues dans le domaine Pilote &amp; Démonstration (P&amp;D)</i>	74
<i>Annexe 4 : Etapes d'un projet géothermique en aquifère profond</i>	77
<i>Annexe 5 : Budget prévisionnel du domaine P&amp;D (période 2008 – 2015)</i>	78

## Résumé

Le débat sur les questions énergétiques va encore s'intensifier lors de ces prochaines années, avec à la clé des choix politiques et de société qui auront une influence au moins sur les 20 à 30 prochaines années. La chaleur terrestre est une source d'énergie quasiment inépuisable qui ne produit pratiquement pas de gaz à effet de serre. En Suisse, des formes originales d'utilisation des ressources géothermiques de basse température et de faible profondeur se sont bien développées à partir des années 1980.

Si l'on considère la géothermie des aquifères profonds (> 400 m) l'absence d'activité depuis 10 ans, correspond à la fin de la garantie du risque géologique, mise en place par l'OFEN de 1987 à 1997. L'extraction de chaleur au moyen de systèmes géothermiques stimulés (EGS) et sa conversion partielle en énergie électrique est très prometteuse mais n'a pas atteint sa maturité technique et économique.

A ce jour, la géothermie ne dispose pas des bases permettant de valoriser les différentes formes de cette technologie. Si l'on veut que la géothermie acquière une véritable filière industrielle en Suisse, une série de conditions doivent être remplies. En effet, l'absence d'une formation complète en géothermie induit un manque flagrant de relèvement scientifique. De même, la faiblesse des moyens dévolus à la recherche et l'insuffisance de soutien pour des installations pilote limitent l'engagement du secteur privé. De plus, les investissements élevés des projets de géothermie profonde se heurtent au risque d'échec géologique.

Pour toutes ces raisons et en fonction de l'actualité de la politique énergétique, il est urgent, si l'on veut réellement développer de manière crédible les différentes technologies de la géothermie, de mettre en place un plan pour un programme national de développement de la géothermie en Suisse, appelé **PROGEOTHERM** qui comporterait trois domaines indispensables: **Formation spécialisée, Recherche & Développement, Pilote & Démonstration**.

PROGEOTHERM devrait débuter le plus rapidement possible et être assuré d'un budget de fonctionnement régulier correspondant à ses objectifs. Sa durée de vie devrait être garantie pendant deux périodes de 4 ans au minimum. Un tel programme visant à améliorer et fiabiliser les bases de la géothermie en Suisse, permettra d'augmenter fortement l'utilisation de l'énergie géothermique en Suisse, notamment pour des installations de grande envergure.

L'objectif de PROGEOTHERM est de préparer les conditions cadre pour initier et réaliser un programme national de géothermie en Suisse pour une durée d'au moins huit ans. PROGEOTHERM est formé de trois domaines qui sont décrits dans le plan du programme :

- **Formation spécialisée** : création d'un Master of Advanced Studies (MAS) en géothermie à l'Université de Neuchâtel ; soutien à la formation continue dans les hautes écoles spécialisées (HES).
- **Recherche & Développement** : travaux de recherche aidant à la mise au point de techniques et de projets touchant les différentes applications de la géothermie.
- **Pilote & Démonstration** : initiation et soutien à des projets d'installations géothermiques d'envergure ; mise à disposition de nouveaux outils et méthodes de reconnaissance.

Le programme PROGEOTHERM sera activé par une direction de projet et trois sous-comités formés de spécialistes de la géothermie dirigeant les trois domaines principaux. Une étroite collaboration sera engagée avec la Société suisse pour la géothermie (SSG). Des synergies scientifiques, techniques et financières seront activement recherchées auprès d'institutions publiques et privées, pour augmenter la portée et le soutien de ce programme national.

Le budget global de PROGEOTHERM atteint 57 millions de francs pour la période 2008-2015, avec des montants respectifs de 3, 38 et 8 millions, pour les trois domaines de Formation, Recherche & Développement et Pilote & Démonstration.

## Zusammenfassung

Die Debatten über die Fragen der Energieversorgung werden sich in den nächsten Jahren noch verschärfen. Dies mit Aussicht auf politische und gesellschaftliche Beschlüsse, welche mindestens für die nächsten 20 bis 30 Jahren Einfluss haben werden. Die Erdwärme ist eine nahezu unerschöpfliche Energiequelle, die praktisch kein Treibhausgas produziert.

In der Schweiz haben sich originelle Formen der Erdwärmenutzung in geringer Tiefe und bei niedrigen Temperaturen seit den 1980er Jahren gut entwickelt. Was die tiefe Geothermie (>400m) betrifft, gibt es jedoch seit den letzten 10 Jahren kaum Aktivitäten. Dies ist auf das Ende der Bohr- und Risikogarantie zurückzuführen, die von 1987 bis 1997 dank dem BFE existierte. Die Wärmegewinnung durch stimulierte geothermische Systeme (EGS) und ihre Umwandlung in Strom ist sehr vielversprechend, hat aber ihre technische und wirtschaftliche Reife noch nicht erreicht.

Bis heute fehlen der Geothermie die Grundlagen, um die verschiedenen Formen dieser Technologie wirklich ausnutzen zu können. Es mangelt an wissenschaftlicher Nachfolge, da es noch keine komplette Ausbildung in Geothermie gibt. Die schwachen Mittel, die der Forschung zur Verfügung gestellt werden und die ungenügende Unterstützung für Versuchsaninstallationen begrenzen das Engagement des Privatsektors. Zudem stehen hohen Investitionen das Risiko eines geologischen Scheiterns im Wege.

Wegen den oben aufgeführten Gründen und entsprechend der aktuellen Lage der Energiepolitik ist es notwendig, ein nationales Programm aufzustellen für die Entwicklung der Technologien der Geothermie in der Schweiz. Dieses Programm, PROGEOTHERM genannt, besteht aus drei unentbehrlichen Bereichen:

- **Spezialisierte Ausbildung:** Errichtung eines Master of Advanced Studies (MAS) in Geothermie an der Universität Neuenburg; Unterstützung der Weiterbildungskurse an den Fachhochschulen (FH).
- **Forschung & Entwicklung:** Forschungsarbeiten für die Entwicklung der Technologie und von Projekten in den verschiedenen Anwendungsbereichen der Geothermie.
- **Pilotanlage und Demonstration:** Wegbereitung und Projektunterstützung bei grossen Geothermieranlagen; Bereitstellen von neuen Geräten und Erkundungsmethoden.

Das Ziel von PROGEOTHERM besteht darin, die Rahmenbedingungen zur Einführung und Realisierung eines nationalen Programms für Geothermie in der Schweiz für mindestens acht Jahre vorzubereiten. Ein solches Programm wird die Möglichkeiten der geothermischen Energienutzung in der Schweiz (insbesondere auch für grosse Installationen) erheblich verbessern.

PROGEOTHERM sollte so bald wie möglich beginnen und durch ein regelmässig funktionierendes und den Zielsetzungen entsprechendes Budget gesichert sein. Sein Bestehen müsste über zwei Zeiträume von vier Jahren garantiert sein.

Eine Projektleitung und drei unterstehende, aus Geothermiespezialisten zusammengestellte, Komitees werden das Programm PROGEOTHERM aktivieren. Es wird eine enge Zusammenarbeit mit der schweizerischen Vereinigung für Geothermie (SVG) stattfinden. Mit öffentlichen und privaten Institutionen wird aktives wissenschaftliches, technisches und finanzielles Zusammenwirken angestrebt werden.

Das globale Budget für PROGEOTHERM beträgt 57 Millionen Franken für die Zeitspanne von 2008-2015, mit respektive 3, 38 und 8 Millionen Franken für die drei Bereiche Ausbildung, Forschung & Entwicklung und Pilotanlage & Demonstration.

## Sommaire étendu

### Introduction

La chaleur terrestre est une source d'énergie quasiment inépuisable qui ne produit pratiquement pas de gaz à effet de serre. L'énergie géothermique fait partie du paysage énergétique mondial depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle. En Suisse, des formes originales d'utilisation des ressources géothermiques de basse température et de faible profondeur se sont bien développées depuis le milieu des années 1980 et notre pays est un des leaders dans ce domaine.

En considérant la géothermie des aquifères profonds, on constate qu'il n'y a plus eu d'activité de prospection ces 10 dernières années, depuis la fin de la garantie du risque géologique des forages. L'extraction de chaleur et sa conversion partielle en énergie électrique par des systèmes géothermiques stimulés (EGS) est très prometteuse, mais cette technologie doit encore être développée avant d'atteindre une maturité technique et économique.

Depuis quelques années, la situation change progressivement. Dès 2001, le programme *Suisseénergie* a permis d'informer et d'éduquer, d'une part, les futurs ingénieurs dans les hautes écoles spécialisées et, d'autre part, d'atteindre les professionnels avec des cours de formation continue. La création à Neuchâtel, en 2004, du Centre de recherche en géothermie (CREGE) a donné une impulsion aux milieux intéressés. De plus, la restructuration de la Société suisse de géothermie (SSG/SVG) en une organisation faîtière GEOTHERMIE.CH, a permis d'améliorer la visibilité de la géothermie dans les milieux économiques et politiques. L'Université de Neuchâtel a décidé d'ouvrir une nouvelle chaire de géothermie. Un professeur ordinaire sera nommé en 2008 avec comme tâche première d'organiser un Master of Advanced Studies (MAS) en géothermie dès 2009.

Finalement, plusieurs outils de financement pour la recherche et le développement des énergies renouvelables et de la géothermie se mettent en place à partir de 2008 :

- Le rachat à prix coûtant de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables.
- La motion Theiler prévoyant une somme de 40-60 millions de francs pour quatre ans, avec pour but la recherche et le développement de la géothermie profonde.
- La garantie au risque géologique pour les forages profonds ; cette action est en préparation sous l'égide de la Société suisse pour la géothermie.

Les carences observées dans les différents domaines de la géothermie (formation, recherche & développement et pilote & démonstration) s'additionnent et ont pour effet d'empêcher qu'une filière de géothermie se développe en Suisse et atteignent une taille critique.

C'est pour l'ensemble de ces raisons que le CREGE a mené une réflexion qui a abouti à une proposition de projet pour le montage d'un programme national complet de développement de l'énergie géothermique en Suisse. Cette proposition a été soumise à l'OFEN, qui a donné mandat au CREGE de préparer ce programme, avec l'échéance très courte de rendre le rapport final au 30 novembre 2007. Le groupe de travail pour le montage du programme PROGEOTHERM était formée de spécialistes choisis en fonction de leurs domaines de compétence, afin de couvrir chacune des thématiques.

### Objectif de PROGEOTHERM

L'objectif général de PROGEOTHERM est de développer des techniques destinées à capter les énormes quantités d'énergie présentes dans les premiers kilomètres de la croûte terrestre, afin de diversifier l'approvisionnement énergétique en Suisse avec une source d'énergie indigène et en même temps de diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> et autres gaz à effet de serre.

Ainsi, pour l'ensemble des raisons mentionnées précédemment et en fonction de l'actualité de la politique énergétique, il est vraiment urgent, si l'on veut réellement développer de ma-

nière crédible les différentes technologies de la géothermie, de mettre en place un programme national appelé PROGEOTHERM comportant trois domaines indispensables : **Formation, Recherche & Développement, Pilote & Démonstration.**

PROGEOTHERM devrait dès que possible être assuré d'un budget de fonctionnement régulier correspondant à ses objectifs. Pour assurer la réalisation de ses objectifs, sa durée de fonctionnement devrait être garantie pendant deux périodes de 4 ans au minimum.

En parallèle et sous l'égide de l'organisation faîtière GEOTHERMIE.CH, le programme FEGES<sup>1)</sup> de recherche & développement pour la production d'électricité à partir des systèmes géothermiques stimulés (EGS) a été conçu et rédigé par un groupe de travail de la SSG/SVG. Le programme FEGES sera initié au sein du domaine Recherche & Développement de PROGEOTHERM, qui mettra en place les bases pour créer une coopérative nationale R+D. Par cette procédure, la production d'électricité géothermique en Suisse devrait se développer dans un délai de 25 ans, comme option importante de l'alimentation en énergie.

## **Contenu du programme**

### ***Formation***

Afin de pourvoir au manque de formation dans le domaine de la géothermie, telle qu'elle devrait être dispensée dans les hautes écoles (Universités, EPF), il est prévu de mettre en place une formation permanente et spécialisée sous la forme d'un « Master of Advanced Studies » (MAS) en géothermie. Il devrait être mis sur pied à l'Université de Neuchâtel dès la rentrée universitaire de 2009, en liaison avec la création d'une chaire de professeur en géothermie à l'Institut de géologie et d'hydrogéologie de cette université.

Le MAS en géothermie se déroulera sur 2 semestres (60 ECTS) et comprendra un premier semestre de cours, exercices et visites, et un deuxième semestre incluant un stage en entreprise et un projet de recherche personnel. L'enseignement sera donné en anglais. L'objectif principal de ce cours est de former des spécialistes en géothermie, capables de monter, planifier et conduire des projets en géothermie.

L'essentiel de la formation continue existant en Suisse doit continuer d'être du ressort de SuisseEnergie via le mandat de géothermie attribué à la SSG/SVG, et qui vise essentiellement les Hautes écoles spécialisées (HES). Cependant, le programme PROGEOTHERM prévoit également un renforcement de ces formations continues existant dans les HES.

### ***Recherche & Développement***

L'effort de recherche du programme PROGEOTHERM sera essentiellement dirigé vers les systèmes de moyenne et grande profondeur, tels que les aquifères profonds et les systèmes géothermiques stimulés profonds (EGS). Une part des fonds est prévue pour la mise en place ou pour des compléments de construction d'installations. Un effort de recherche de moindre importance sera toutefois attribué au développement de systèmes de faible profondeur, pour autant qu'il soit utile aux systèmes de moyenne et grande profondeur.

La recherche appliquée et le développement pour l'utilisation de l'énergie géothermique poursuivent différents objectifs généraux :

- Identification des ressources exploitables.
- Évaluation des risques associés à l'exploitation de la ressource.
- Amélioration de la sécurité de la planification.
- Simplification des installations.

<sup>1)</sup> FEGES : Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur geothermischen Stromerzeugung in der Schweiz



- Amélioration de l'indépendance des conditions géologiques.
- Diminution des coûts d'installation.
- Diminution des coûts d'exploitation.

En plus des recherches de base et appliquées en laboratoire, des sites-tests devront être trouvés pour quelques applications géothermiques spécifiques et utilisés avec les objectifs suivants : (1) Réaliser des mesures et des modélisations utiles au développement des technologies ainsi qu'à la compréhension des mécanismes ; (2) Tester et développer des technologies aidant au captage des ressources géothermiques.

Une grande part de la recherche proposée doit se faire en synergie avec des équipes de recherche et des projets existants. Elle est prévue également sur des projets à développer avec des entreprises privées et des collectivités, dans le cadre du domaine Pilote & Démonstration du programme PROGEOTHERM.

### ***Priorités pour le domaine Recherche & Développement de PROGEOTHERM***

<b>Systèmes</b>	<b>Priorités pour la recherche du programme PROGEOTHERM</b>
Géothermie de basse température et faible profondeur	Projets de recherche spécifiques d'ampleur limitée et pouvant également servir au développement de la géothermie des systèmes profonds à haute température.
Aquifères profonds (>400m)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Évaluation du potentiel géothermique des aquifères profonds.</li><li>• Développement et application des méthodes d'exploration.</li><li>• Investigations géophysiques des meilleurs sites potentiels.</li><li>• Participation à la construction de doublets géothermiques.</li><li>• Développement des méthodes de stimulation de la perméabilité.</li><li>• Maîtrise de la géochimie des fluides hydrothermaux dans les puits.</li></ul>
Systèmes géothermiques stimulés profonds (EGS)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Synthèse et bilan des informations relatives aux technologies EGS.</li><li>• Étude du risque sismique associé aux réservoirs EGS.</li><li>• Acquisition et utilisation des informations du forage Basel-1.</li><li>• Développement de techniques de fracturation de forages de 1 à 3 km.</li><li>• Étude des processus de circulation des fluides des réservoirs fracturés.</li><li>• Réalisation de systèmes EGS.</li></ul>

### ***Pilote & Démonstration***

Pour convaincre les autorités politiques, les exploitants potentiels et les investisseurs de l'intérêt de ce type d'énergie, il est primordial de promouvoir et développer des projets pilote visant à démontrer la faisabilité et la fiabilité technique ainsi que l'intérêt commercial des centrales géothermiques exploitant la chaleur des eaux souterraines profondes.

L'objectif principal est de promouvoir le développement de nouveaux projets géothermiques liés aux aquifères profonds. Les projets pilote seront d'abord orientés vers la production de chaleur, mais aussi vers la production d'électricité en exploitation mixte chaleur-force. En

dehors de cette filière de la géothermie, les champs de sondes géothermiques de grande envergure pourraient également bénéficier d'un soutien dans le cadre de ce domaine.

Les principales actions du domaine P&D seront les suivantes:

- Initier des projets pilote en synergie avec les pouvoirs publics et le secteur privé.
- Favoriser activement la prospection, par des études régionales pour l'évaluation du potentiel géothermique, une collecte et la synthèse des mesures physico-chimiques des fluides, des investigations par géophysique, de nouveaux forages de reconnaissance.
- Encadrer techniquement et scientifiquement la mise en place progressive de centrales géothermiques : accompagnement dans les phases d'exploration et d'exploitation des aquifères profonds.

Les deux filières principales considérées par le domaine P&D concernent des projets de valorisation de la chaleur souterraine avec pompes à chaleur (PAC) ou en utilisation directe, ainsi que la cogénération d'électricité et de chaleur dans certains cas favorables :

- Forages en aquifères profonds : exploitation de l'énergie des eaux souterraines profondes (chaleur et éventuellement électricité).
- Champs de sondes géothermiques : exploitation indirecte de la chaleur par circulation de fluides caloporteurs dans des échangeurs de chaleurs verticaux.

La priorité des actions du domaine P&D doit être placée sur la promotion, le soutien et le suivi de projets géothermiques avec une valorisation directe de la chaleur ou une production mixte électricité & chaleur. En effet, ils nécessitent un investissement plus important et comportent un risque plus élevé.

### ***Politique, Finance et Information***

Le débat sur les questions énergétiques fait désormais partie du quotidien et va s'intensifier fortement ces prochaines années, avec des choix politiques et de société qui auront une influence sur les 20 à 30 prochaines années. Les principales préoccupations touchent les économies d'énergie, le développement des énergies renouvelables, la diminution des émissions des gaz à effet de serre, l'augmentation du prix des énergies fossiles, le remplacement des anciennes centrales nucléaires, ainsi que la réalisation de nouvelles centrales à gaz.

Dans un document publié en février 2007, le Conseil fédéral a fixé quatre axes importants pour la future politique énergétique : les deux premiers, soit l'efficacité énergétique et le développement des sources d'énergie renouvelables sont une priorité absolue.

La taxe de 0,6 ct/kWh d'électricité consommée, qui devrait être introduite dès le 1<sup>er</sup> janvier 2008, va générer une somme d'environ 300 millions de francs. Elle sera presque exclusivement destinée à la rétribution à prix coûtant d'électricité produite à partir de sources renouvelables. La géothermie, contrairement à d'autres sources renouvelables n'en bénéficiera pas au début, par manque de futures installations.

Un fonds sera créé qui servira de caution pour couvrir le risques géologique des forages.

La motion Theiler acceptée par les chambres fédérales propose un crédit cadre de l'ordre de 40 à 60 millions répartis sur 4 ans pour la recherche dans le domaine de la géothermie profonde. Ce crédit permettra de développer un programme de recherche & développement crédible et de rattraper le retard pris en Suisse dans ce domaine.

L'information est une composante très importante dans tout développement technologique. Elle doit viser trois types de publics : les politiciens responsables du cadre législatif et de l'octroi des crédits ; les compagnies énergétiques intéressées par la production de chaleur et d'électricité ; les consommateurs de ce type d'énergie.

Dans le cadre de PROGEOTHERM, un programme détaillé d'information sera élaboré en collaboration avec celui de la SSG/SVG, pour que ces deux programmes respectifs ne comportent pas de doublons mais au contraire se renforcent l'un et l'autre.

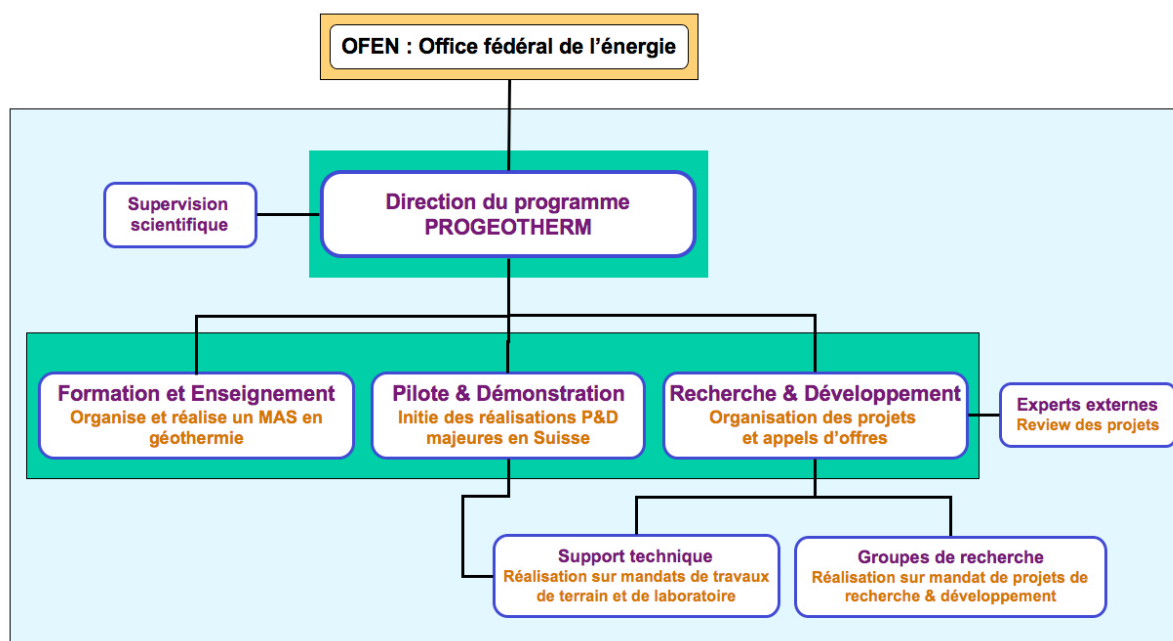
## Organisation de PROGEOTHERM

Pour que le programme PROGEOTHERM puisse démarrer dès le deuxième semestre de 2008 et atteindre rapidement un rythme de croisière et une efficacité optimale, un système d'organisation doit être planifié et une structure soignée doit être mise en place.

Une Direction de projet conduira le programme et assurera la coordination entre les différents organes et l'OFEN. Un support organisationnel et logistique sera également fonctionnel. Un conseil scientifique avisera sur les options générales choisies et les priorités thématiques. Le domaine Politique, Finance et Information sera rattaché à la Direction de projet.

Ensuite, trois sous-comités correspondant aux trois domaines principaux que sont Formation, Recherche & Développement et Pilote & Démonstration seront également des organes permanents de la structure de PROGEOTHERM avec des buts et des tâches précises.

Un groupe d'experts reconnus selon leur spécialité seront engagés de cas en cas pour évaluer les soumissions de projets de recherche et ensuite pour estimer les résultats de ces mêmes projets, ainsi que la cohérence globale du programme de recherche.



**Organigramme simplifié du fonctionnement du programme PROGEOTHERM**

## Budget de PROGEOTHERM

Pour atteindre les buts fixés, il faudra prévoir une durée de vie du programme PROGEOTHERM d'au moins deux périodes de quatre ans, ce qui représentera un montant global d'environ 22 millions de francs pour la première période de quatre ans. La deuxième période de quatre ans nécessitera des montants sensiblement supérieurs, surtout pour ce qui concerne la recherche, avec un total de 35 millions de francs pour la phase 2.

Bien qu'une certaine souplesse et des variations annuelles du budget et du programme soient envisageables, les montants indiqués ne pourront pas être fortement diminués sans

devoir reconsidérer complètement les objectifs du programme PROGEOTHERM, à savoir la création d'une filière technologique de la géothermie en Suisse.

Les sources de financement potentielles pouvant venir du secteur privé seront également proposées et recherchées lors de la phase initiale des premières années, pour que les activités planifiées soient également soutenues par l'industrie.

**Synthèse du budget global du programme PROGEOTHERM**

<b>Domaines</b>	<b>Montants (milliers CHF)</b>				
	<b>Phase 1</b>			<b>Phase 2</b>	<b>Total</b>
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010 - 2011</b>	<b>2012 - 2015</b>	<b>2008 - 2015</b>
<b>Durée</b>	<b>1/2 an</b>	<b>1 an</b>	<b>2 ans</b>	<b>4 ans</b>	
<b><i>Direction du programme (organisation et suivi)</i></b>	300	500	1'500	3'000	<b>5'300</b>
<b><i>Formation dans les hautes écoles</i></b>	150	420	800	1'600	<b>2'970</b>
<b><i>Recherche &amp; Développement</i></b>	600	2'800	10'000	25'000	<b>38'400</b>
<b><i>Pilote &amp; Démonstration</i></b>	640	1'020	2'550	4'140	<b>8'350</b>
<b><i>Politique, Finance et Information</i></b>	100	200	400	800	<b>1'500</b>
<b><i>Totaux</i></b>	<b>1'790</b>	<b>4'940</b>	<b>15'250</b>	<b>34'540</b>	<b>56'250</b>

# Kurzfassung

## Einleitung

Die Erdwärme ist eine beinahe unerschöpfliche Energiequelle, die praktisch kein Treibhausgas produziert. Die geothermische Energie hat seit Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts ihren Festen Platz in der Energiewelt. In der Schweiz haben sich neuartige Formen der Erdwärmenutzung in geringer Tiefe und bei niedrigen Temperaturen seit Mitte der 1980er Jahren gut entwickelt, so dass unser Land zu den Spitzenmeister in diesem Gebiet gehört.

Betrachtet man hingegen die tiefe Geothermie, haben in den letzten 10 Jahren seit dem Ablauf der Bohr- und Risikogarantie des Bundes keine Prospektionen mehr stattgefunden. Die Wärmegewinnung und ihre teilweise Umwandlung in Strom mit Hilfe von stimulierten geothermischen Systemen ist vielversprechend, doch muss diese Technologie noch weiterentwickelt werden, damit sie ihre technische und wirtschaftliche Reife erlangen kann.

Die Situation ändert sich seit den letzten Jahren allmählich. Seit 2001 ermöglicht das Programm **Energieschweiz** angehende Ingenieure in Fachhochschulen zu informieren und auszubilden und bietet Weiterbildungskurse für Fachleute an. Das 2004 in Neuenburg gegründete Forschungszentrum für Geothermie (CREGE) hat das interessierte Umfeld in Schwung gebracht. Zudem hat die Restrukturierung der schweizerischen Vereinigung für Geothermie (SVG) in den Dachverband GEOTHERMIE.CH die Bekanntmachung der Geothermie in politischen und wirtschaftlichen Kreisen verbessert. Die Universität Neuenburg wird einen neuen Lehrstuhl für Geothermie einführen und ab 2008 einen Professor wählen, dessen erste Aufgabe die Organisation eines Master of Advanced Studies (MAS) in Geothermie (ab 2009) sein wird.

Des weiteren werden ab 2008 mehrere Finanzierungsmittel für die Forschung und Entwicklung der erneuerbaren Energien und der Geothermie bereitgestellt werden:

- Kostendeckende Vergütung für Strom aus erneuerbarer Energie.
- 40-60 Millionen Franken, welche von der Motion Theiler für vier Jahre zur Forschung und Entwicklung der tiefen Geothermie vorgesehen wird.
- Bohr- und Risikogarantie bei tiefen Bohrungen; in Vorbereitung unter der Leitung der schweizerischen Vereinigung für Geothermie (SVG).

Die Mängel, die in den verschiedenen Bereichen der Geothermie (Ausbildung, Forschung & Entwicklung und Pilot & Demonstration) vorhanden sind, verhindern, zusammengefasst, dass sich in der Schweiz eine Brache der Geothermie von kritischer Grösse entwickeln kann.

Deswegen schlägt das CREGE nach reifer Überlegung ein Projekt vor, das den Aufbau eines kompletten nationalen Programms zur Entwicklung der geothermischen Energie in der Schweiz ermöglicht. Dieser Vorschlag ist dem BFE vorgelegt worden, welcher dem CREGE den Auftrag erteilt hat, das Programm vorzubereiten. Dies mit der Anweisung, den Endbericht innert einer sehr kurzen Frist, nämlich bis zum 30.11.2007 abzugeben. Die zum Aufbau des Programms PROGEOTHERM zuständige Arbeitsgruppe wurde aus Spezialisten zusammengestellt, deren jeweiligen Kompetenzen zusammen jeden Bereich abdecken.

## Das Ziel von PROGEOTHERM

Das Hauptziel von PROGEOTHERM ist die Entwicklung der Technologien zur Nutzung der enormen Energiemengen, die in den ersten Kilometer der Erdkruste vorhanden sind. Die Entwicklung der Geothermie bedeutet für die Schweiz eine weitere inländische Energiequelle, die erneuerbar ist und kein CO<sub>2</sub> und andere Treibhausgase produziert.

Aus den oben aufgeführten Gründen und entsprechend der aktuellen Lage der Energiepolitik lässt sich schließen, dass es dringlich ist, ein nationales Programm aufzustellen, welches die

effiziente Entwicklung der verschiedenen Technologien der Geothermie ermöglicht. Dieses Programm, PROGEOTHERM genannt, enthält drei Hauptbereiche: **Ausbildung, Forschung & Entwicklung** und **Pilotanlagen & Demonstration**.

PROGEOTHERM sollte baldmöglichst beginnen und mit einem regelmäßig funktionierendem und den Zielsetzungen entsprechendem Budget gesichert sein. Damit die Ziele erreicht werden können, sollte sein Bestehen mindestens über zwei Zeiträume von vier Jahren garantiert werden.

Parallel dazu wurde von einer Arbeitsgruppe des SVG und unter der Leitung des Dachverbandes GEOTHERMIE.CH das Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur geothermischen Stromerzeugung in der Schweiz, FEGES, entworfen. Das Programm FEGES wird im Programm PROGEOTHERM unter dem Bereich Forschung & Entwicklung eingeführt werden, der die Grundlagen für die Gründung einer nationalen Genossenschaft F & E aufstellen wird.

Mit diesem Vorgehen sollte sich innert 25 Jahren die geothermische Stromproduktion in der Schweiz zu einer bedeutenden Energieversorgungsvariante entwickeln.

## Inhalt des Programms

### **Ausbildung**

Um den Mangel an Ausbildung, der in den verschiedenen Bereichen der Geothermie an den Universitäten und an der ETH herrscht, aufzuheben, ist eine spezialisierte Ausbildung in Form eines "Master of Advanced Studies" (MAS) in Geothermie vorgesehen. Diese Ausbildung, die mit der Einführung des Professorenlehrstuhls in Geothermie einhergeht, wird ab Studienjahr 2009 im geologischen und hydrogeologischen Institut der Universität Neuenburg errichtet sein.

Das MAS in Geothermie dauert zwei Semester (60 ECTS), wobei das erste Semester Kurse, Übungen und Besichtigungen beinhaltet und das zweite Semester ein Praktikum in einer Firma und eine persönliche Forschungsarbeit. Der Unterricht wird auf Englisch stattfinden. Der Hauptzweck des Kurses ist es, Spezialisten heranzubilden, die fähig sind, Geothermieprojekte aufzubauen, zu planen und zu führen.

Die in der Schweiz existierende Weiterbildung muss größtenteils weiterhin die Angelegenheit der **Energieschweiz** bleiben, entsprechend dem Mandat „Geothermie“, der an die SVG vergeben wurde, und der hauptsächlich die Fachhochschulen (FH) betrifft. Die Weiterbildungen an den FHs werden jedoch ebenfalls vom Programm PROGEOTHERM unterstützt werden.

### **Forschung & Entwicklung**

Die Forschungsarbeiten des Programms PROGEOTHERM werden sich hauptsächlich mit Systemen von mittlerer bis großer Tiefe beschäftigen, wie die tiefen Aquifere und die stimulierten geothermischen Systeme (EGS). Ein Teil des Kapitals ist für den Aufbau oder für Ergänzungen von Installationen vorgesehen. Eine weniger wichtiger Teil der Forschungsanstrengungen wird sich gleichwohl der Entwicklung von nicht-tiefen Anlagen widmen, doch nur wenn diese auch der Entwicklung von Anlagen mittlerer und großer Tiefe nutzt.

Die Forschung und Entwicklung der geothermischen Energienutzung hat folgende Ziele:

- Identifizierung der ausnutzbaren Geothermiequellen
- Einschätzung des Risikos im Zusammenhang mit der Erschließung
- Verbesserung der Sicherheit der Planung
- Vereinfachung der Installationen
- Vergrößerung der Unabhängigkeit von der geologischen Lage

- Verminderung der Installationskosten
- Verminderung der Erschließungskosten.

Neben den grundlegenden und im Labor stattfindenden Forschungen, müssen Testgelände für bestimmte geothermische Anwendungen gefunden werden und zu folgenden Zwecken genutzt werden: (1) Realisierung von Messungen und Modellen, die der Technologieentwicklung und dem Verständnis der Mechanismen dienen; (2) Testen und Entwickeln der Techniken zur Ausnutzung der Geothermiequellen.

Ein großer Teil der geplanten Forschungen werden mit schon vorhandenen Forschungsgruppen und Projekten zusammenwirken müssen. Es ist auch vorgesehen, im Rahmen des Bereichs Pilotanlagen & Demonstration im Programm PROGEOTHERM mit privaten Firmen und der Öffentlichkeit Projekte zu entwickeln.

### ***Prioritäten für den Bereich Forschung & Entwicklung von PROGEOTHERM***

<b>Systeme</b>	<b>Prioritäten für die Forschung des Programms PROGEOTHERM</b>
Niedertemperatur Geothermie (geringe Tiefe)	Spezifische Forschungsprojekte von begrenztem Umfang und die auch der Entwicklung der Geothermie der tiefen Systemen mit hoher Temperatur nutzen können.
Tiefe Aquifere (>400m)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ermittlung des geothermischen Potenzials der tiefen Aquifere.</li><li>• Entwicklung und Anwendung der Erforschungsmethoden.</li><li>• Geophysikalische Erkundung der besten potenziellen Standorten</li><li>• Mitwirkung beim Bau von geothermischen Dubletten.</li><li>• Entwicklung der Verfahren zur Stimulation der Permeabilität</li><li>• Beherrschen der Chemie der hydrothermalen Flüssigkeiten und Gasen in den Bohrungen.</li></ul>
Tiefe Stimulierte geothermische Systeme (EGS)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bestandesaufnahme der Informationen betreffs EGS Technologien.</li><li>• Untersuchung des Erdbebenrisikos bei EGS Reservoirs</li><li>• Beschaffung und Nutzung der Information über die Bohrung Basel-1</li><li>• Technologien zur Ausdehnung der Gesteinsklüftigkeit in 1 - 3km tiefe.</li><li>• Erforschung der Zirkulationsprozesse der Flüssigkeiten und Gase</li><li>• Realisierung von EGS Anlagen.</li></ul>

### ***Pilotanlagen & Demonstration***

Um Politiker, potentielle Nutzer und Investoren von den Vorteilen dieser Energieform zu überzeugen ist es wichtig, Pilotprojekte zu fördern und zu entwickeln. Dadurch kann die technische Machbarkeit und Verlässlichkeit, wie auch das kommerzielle Interesse der Geothermieranlage gezeigt werden, welche die Wärme des tiefen Grundwassers nutzen.

Der Hauptzweck besteht darin, die Entwicklung neuer Projekte für die tiefe Geothermie zu fördern. Pilotprojekte werden auf die Wärmegewinnung ausgerichtet sein, aber auch auf Stromproduktion bei gemischter Wärme-Kraftnutzung. Außerhalb dieser Sparte der Geothermie könnten auch große Erdwärmesondenfelder in diesem Rahmen unterstützt werden.

Die Haupttätigkeiten des Bereiches Pilotanlage & Demonstration werden folgende sein:

- Einführung von Pilotprojekten in Zusammenarbeit mit der Öffentlichkeit und dem Privatsektor.
- Aktives Fördern der Erkundungen, durch regionale Untersuchungen zur Einschätzung des geothermischen Potenzials, Bestandesaufnahmen der physikochemischen Werte der Flüssigkeiten und Gase, geophysikalische Messungen und neuen Erkundungsbohrungen.
- Technische und wissenschaftliche Unterstützung beim Bau von geothermischen Anlagen: Begleitung während der Phasen der Auskundschaftung und der Erschließung des tiefen Aquifers.

Der Bereich P&D konzentriert sich auf zwei Hauptbereiche, einerseits Projekte für die direkte Nutzung der Erdwärme mit Wärmepumpen (PAC) und andererseits, in günstigen Fällen, die gleichzeitige Herstellung von Strom und Wärme:

- Bohrungen in tiefen Aquifere: Nutzung der Energie aus dem tiefen Grundwasser (Wärme und eventuell Stromproduktion)
- Erdwärmesondenfelder: Indirekte Wärmenutzung durch die Zirkulation von Wärmeträgerflüssigkeiten in vertikale Wärmeaustauscher.

Handlungspriorität des Bereiches P & D muss der Pomotion, der Unterstützung und Weiterverfolgung von geothermischen Projekten dienen, in denen es sich um eine direkte Wärmenutzung oder einer gemischten Wärme- und Stromgewinnung handelt, denn solche Projekte benötigen eine größere Investition und sind risikoreicher.

### ***Politik, Finanzen und Information***

Die Diskussionen um die Fragen der Energieversorgung finden tagtäglich statt und werden sich in den nächsten Jahren noch verschärfen. Dies mit Aussicht auf politische und gesellschaftliche Beschlüsse, die die nächsten 20 bis 30 Jahren beeinflussen werden. Die Hauptsorgen gelten vor allem dem Energiesparen und der Entwicklung erneuerbaren Energien, der Treibhausgasverminderung, dem Preisaufstieg der fossilen Energie, dem Ersetzen von alten Atomkraftwerken und der Entwicklung neuer Gaskraftwerke.

In einem im Februar 2007 veröffentlichten Artikel, hat der Bundesrat vier Zielrichtungen definiert, die für die zukünftige Energiepolitik wichtig sind, wobei die ersten zwei, das heißt die energetische Leistungsfähigkeit und die Entwicklung erneuerbarer Energien, von absoluter Priorität sind.

Die Stromgebühr von 0.6 Rp/kWh, die ab Januar 2008 eingeführt werden sollte, wird eine Summe von 300 Millionen Franken erzeugen, die fast ausschließlich für die kostendeckende Vergütung für Strom aus erneuerbaren Energien bestimmt ist. Doch da es an künftigen geothermischen Stromanlagen mangelt, wird die Geothermie zunächst nicht davon profitieren. k

Ein zusätzliches Kapital ist für die geologische Bohr- und Risikogarantie vorgesehen.

Für die Erforschung der tiefen Geothermie bietet die Motion Theiler, die von den Räten akzeptiert wurde, einen Rahmenkredit zwischen 40 und 50 Millionen Franken an, der über vier Jahre verteilt wird. Dieser Kredit wird ermöglichen, ein glaubhaftes Programm für den Bereich Forschung & Entwicklung zu entwickeln und die Verspätung der Schweiz aufzuholen.

Die Information ist ein sehr wichtiger Bestand jeder Technologieentwicklung. Sie sollte drei Teile der Öffentlichkeit ansprechen: die Politiker, die für die Gesetze und die Kreditgewährung zuständig sind, die an Wärme- und Stromproduktion interessierten Energiegesellschaften und die Energiekonsumenten.



Im Rahmen von PROGEOTHERM wird ein detailliertes Informationsprogramm erarbeitet werden. Dies wird in Zusammenarbeit mit der SVG stattfinden, damit sich deren Programm nicht mit dem von PROGEOTHERM überschneidet.

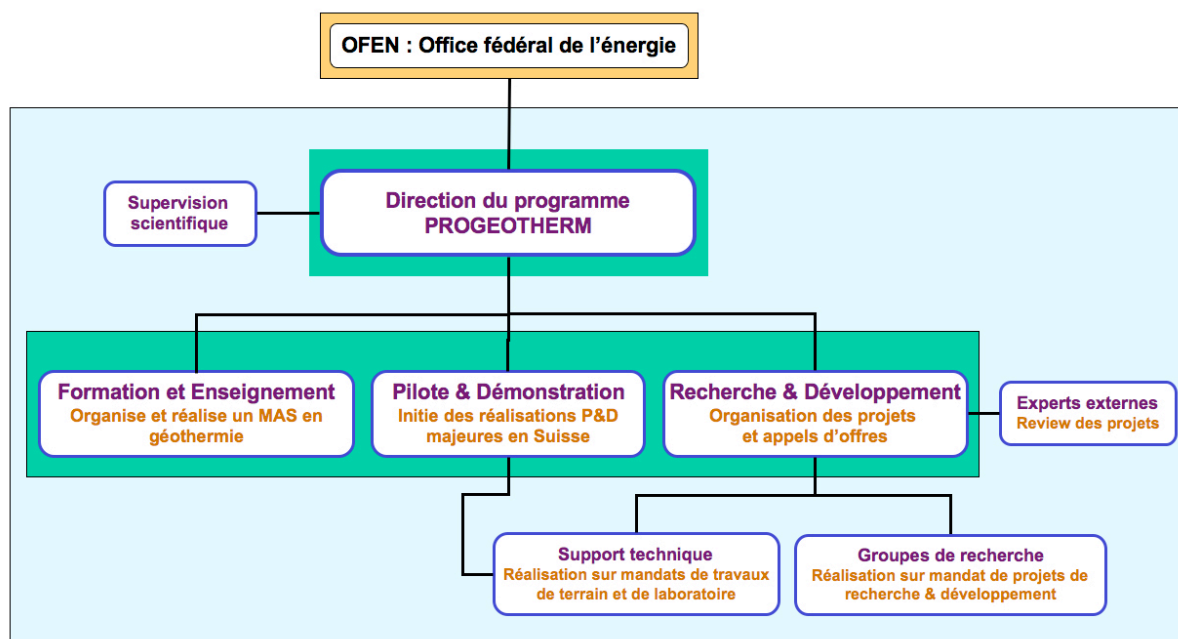
## Organisierung von PROGEOTHERM

Damit das Programm PROGEOTHERM im zweiten Semester 2008 starten kann und ein schnelles Voranschreiten und eine optimale Effizienz erreicht wird, muss ein Organisationssystem geplant werden mit einer sorgfältig erarbeiteten Struktur.

Eine für das Programm zuständige Projektleitung wird sich um die Koordinierung zwischen den verschiedenen Organen und dem BFE kümmern. Eine organisatorische und logistische Stütze wird auch aktiv sein. Ein wissenschaftlicher Rat wird über die allgemeinen Optionen und die Themenschwerpunkte entscheiden. Der Bereich Politik, Finanzierung und Information wird der Projektleitung zugeteilt werden.

Drei unterstehende Komitees, die den drei Hauptbereiche Ausbildung, Forschung & Entwicklung und Pilotanlagen & Demonstration entsprechen, werden auch beständige Organe von PROGEOTHERM sein und präzise Aufgaben und Ziele haben.

Schliesslich gibt es eine Gruppe von Experten, anerkannt durch ihre Spezialisierung, die eingestellt werden, um die vorgestellten Forschungsprojekte zu beurteilen und die Resultate derselben Projekte wie auch die globale Kohärenz des Forschungsprogramms einzuschätzen.



**Vereinfachter Organisationsplan des Programms PROGEOTHERM**

## Budget von PROGEOTHERM

Damit die aufgestellten Ziele erreicht werden können, muss das Fortbestehen des Programms PROGEOTHERM für mindestens zwei Perioden von vier Jahren gesichert sein. Dies entspricht einem Gesamtbudget von ca. 22 Millionen Franken für die ersten vier Jahre und einem vor allem wegen der Forschung etwas höheren Budget für die zweite vierjährige Periode, nämlich 35 Millionen Franken.

Auch wenn eine gewisse Flexibilität sowohl Schwankungen im Jahresbudget als auch Programmänderungen erlauben soll, können die oben erwähnten Summen nicht sehr vermindert werden, ohne dass die gesamten Zielsetzungen des Programms PROGEOTHERM, das den Aufbau einer technologischen Branche der Geothermie in der Schweiz anstrebt, neu überarbeitet werden müssen.

Potenzielle Finanzierungen von Seiten des Privatsektors werden in der Anfangsphase der ersten Jahren vorgeschlagen und gesucht werden, damit die geplanten Aktivitäten auch von der Industrie unterstützt werden.

**Gesamtbudget des Programms PROGEOTHERM**

<b>Bereiche</b>	<b>Betrag (Tausende CHF)</b>				
	<b>Phase 1</b>			<b>Phase 2</b>	<b>Total</b>
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010 - 2011</b>	<b>2012 - 2015</b>	<b>2008 - 2015</b>
<b>Dauer</b>	<b>1/2 Jahr</b>	<b>1 Jahr</b>	<b>2 Jahre</b>	<b>4 Jahre</b>	
<b>Leitung des Programms (Organisation &amp; Weiterverfolgung)</b>	300	500	1'500	3'000	<b>5'300</b>
<b>Ausbildung in den Hochschulen</b>	150	420	800	1'600	<b>2'970</b>
<b>Forschung &amp; Entwicklung</b>	600	2'800	10'000	25'000	<b>38'400</b>
<b>Pilotanlagen &amp; Demonstration</b>	640	1'020	2'550	4'140	<b>8'350</b>
<b>Politik, Finanzen und Information</b>	100	200	400	800	<b>1'500</b>
<b>Total</b>	<b>1'790</b>	<b>4'940</b>	<b>15'250</b>	<b>34'540</b>	<b>56'250</b>

# 1. Introduction

Les conditions actuelles de la géothermie en Suisse, l'évolution des discussions sur l'environnement et l'énergie, ainsi que les décisions politiques prises ou à prendre dans ces domaines ont conduit le Centre de recherche en géothermie (CREGE) à engager dès le début de 2007 une réflexion sur les moyens à mettre en oeuvre pour créer une véritable filière industrielle de la géothermie. Ces travaux ont mené à la réalisation d'une proposition soumise à l'OFEN pour le montage d'un programme de développement de l'énergie géothermique en Suisse.

Ce rapport final présente PROGEOTHERM, le programme national de développement de la géothermie en Suisse.

## 1.1 Situation de la géothermie en Suisse

Le débat sur les questions énergétiques fait désormais partie du quotidien et va s'intensifier fortement ces prochaines années, avec à la clé des choix politiques et de société qui auront une influence sur les 20 à 30 prochaines années. Les principales préoccupations touchent les économies d'énergie, le développement des énergies renouvelables, la diminution des émissions de CO<sub>2</sub> et autres gaz à effet de serre, l'augmentation du prix des énergies fossiles, le remplacement des anciennes centrales nucléaires, ainsi que la réalisation de nouvelles centrales à gaz.

La chaleur terrestre est une source d'énergie quasiment inépuisable qui ne produit pratiquement pas de gaz à effet de serre. L'énergie géothermique fait partie du paysage énergétique mondial depuis 1904 déjà pour la production d'électricité. En Suisse, des formes originales d'utilisation des ressources géothermiques de basse température et de faible profondeur se sont bien développées depuis le milieu des années 1980. Notre pays est un des leaders dans ce domaine avec notamment la plus forte densité au monde de sondes géothermiques verticales (SGV) par unité de surface.

Cet essor considérable des SGV se fait essentiellement pour le chauffage de villas neuves, grâce notamment au développement de techniques de forage appropriées, des techniques d'isolation des bâtiments et à la rapide et constante amélioration des pompes à chaleur. Par contre, l'utilisation de ce type de géothermie de faible profondeur dans le cadre de la rénovation des villas ou pour le chauffage et le refroidissement de grands bâtiments (champs de SGV et pieux énergétiques) ne progresse que lentement.

En considérant la géothermie des aquifères profonds (> 400 m), on constate qu'il n'y a plus d'activité depuis 10 ans, précisément depuis la fin de la garantie du risque des forages qui avait été mise en place par l'OFEN entre 1987 et 1997. Sur une douzaine de forages profonds effectués, le taux de succès a atteint environ 40%, ce qui peut être considéré comme un bon résultat étant donné qu'il s'agissait de pure prospection et non pas de forages dans des réservoirs connus et quantifiés. Les meilleurs exemples sont d'une part le doublet géothermique de Riehen qui fournit depuis 1994 le 50% des besoins en chaleur du réseau de chauffage à distance de la commune, et d'autre part le forage de Lavey-les-Bains qui, associé à un premier puits, couvre l'intégralité des besoins en chaleur du Centre thermal du même nom.

L'extraction de chaleur et sa conversion partielle en énergie électrique par des systèmes géothermiques stimulés (EGS) est très prometteuse, mais doit encore être développée. Notamment, pour le projet Deep Heat Mining (DHM) de Bâle, les événements sismiques induits par la stimulation du réservoir en décembre 2006 avaient atteint une magnitude imprévue. Cependant, ce risque devrait être surmonté grâce à une expérience plus importante. Il serait

très dommageable, pour l'ensemble de la géothermie profonde, que le sort de cette technologie prometteuse soit uniquement lié aux résultats de l'étude du risque sismique en cours et à la décision politique subséquente des autorités bâloises. D'après le planning actuel, le redémarrage souhaité du projet DHM n'est pas prévu avant 2009. Les autres projets de type EGS sur sol helvétique et d'autres initiatives similaires sont malheureusement suspendus en attendant le verdict de Bâle. D'autre part, plusieurs projets récents en Autriche et en Allemagne ont montré la possibilité de produire aussi de l'électricité à partir d'aquifères profonds.

Aujourd'hui, quelques tentatives encourageantes mais isolées sont menées pour établir des avant-projets et améliorer les connaissances sur les aquifères profonds en milieu alpin. Il y a lieu dans ce cadre de favoriser ces projets, ainsi que d'autres sur le Plateau et au pied du Jura, de rassembler rapidement les expériences qu'ils permettront d'acquérir et de diffuser les informations conduisant à de nouveaux projets.

Les causes du faible développement des différentes applications de la géothermie et de la lenteur de réalisation des projets sont multiples, mais elles sont notamment liées aux imposants défis du milieu géologique et aux faibles moyens financiers consacrés à ce domaine. La récente décision concernant la couverture du risque géologique est très clairement un pas dans la bonne direction, bien qu'elle soit limitée aux projets de géothermie profonde pour la production d'électricité. Dans le domaine de la formation et de la recherche, la géothermie n'a pas reçu la place qu'elle méritait dans les programmes des Hautes Écoles.

Depuis quelque temps, la situation s'améliore progressivement. Dès 2001, le programme *Suisseénergie* a permis d'informer et d'éduquer, d'une part, les futurs ingénieurs dans les hautes écoles spécialisées par des programmes intégrés aux cours et, d'autre part, d'atteindre les professionnels avec de petits cours de formation continue.

La création à Neuchâtel, en 2004, du Centre de recherche en géothermie (CREGE) a donné une impulsion aux milieux intéressés. Cette initiative a été saluée par l'OFEN. De plus, la restructuration de la Société suisse de géothermie (SSG/SVG) en une organisation faîtière GEOTHERMIE.CH, a permis d'améliorer la visibilité de la géothermie dans les milieux économiques et politiques.

A l'automne 2007, l'Université de Neuchâtel a décidé d'ouvrir une nouvelle chaire de géothermie et un professeur ordinaire sera nommé en 2008 à l'Institut de géologie et d'hydrogéologie, avec comme tâche première d'organiser la préparation et le démarrage d'un Master of Advanced Studies (MAS) en géothermie dès 2009.

Finalement, plusieurs outils de financement pour la recherche et le développement des énergies renouvelables et de la géothermie se mettent en place progressivement à partir de 2008 :

- Mise en place d'un fond pour le rachat à prix coûtant de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables. Cependant, au cours des premières années, cette potentialité financière ne profitera pas à la géothermie.
- Acceptation de la motion Theiler qui prévoit une somme d'environ 50 millions de francs sur une durée de quatre ans, avec pour but la recherche et le développement de la géothermie profonde.
- Préparation d'une garantie au risque géologique pour les forages profonds ; cette action débute actuellement sous l'égide de la Société suisse pour la géothermie (SSG/SVG).

## 1.2 Besoins pour une filière de la géothermie

Il semble évident que la géothermie ne dispose actuellement pas des bases qui permettraient de développer efficacement les différentes formes de cette technologie. On peut dresser une liste des moyens qu'il faudrait mettre en place ou renforcer :

- **Formation complète en géothermie.** Seuls quelques cours limités existent dans certaines Universités, EPF et HES et sont tous soumis à des fluctuations budgétaires fréquentes ou à une absence partielle ou totale de moyens financiers.
- **Relève scientifique en géothermie.** En Suisse, les chercheurs en géothermie sont peu nombreux, relativement isolés dans des unités dont ce n'est qu'une activité accessoire et ils sont majoritairement dans la tranche d'âge 45-65 ans. La relève des jeunes est très faible.
- **Moyens pour la recherche.** Les budgets publics sont très limités : jusqu'à maintenant, le Fonds national de la recherche ne finançait pas les projets de géothermie, car celle-ci est considérée comme de la recherche appliquée. Au contraire l'OFEN soutient exclusivement des projets fortement appliqués conduisant à des réalisations ou à des développements rapides.
- **Moyens pour la promotion et le marketing.** Un progrès sensible en ce qui concerne la connaissance et la compréhension de la géothermie par les différents milieux a été constaté à partir de 2001, grâce au mandat de promotion de la géothermie attribué par *Suisseénergie* à la SSG/SVG.
- **Moyens pour des installations pilote et de démonstration (P&D).** Pour des raisons budgétaires, dès 2005 les moyens de l'OFEN destinés à ce type d'action ont été supprimés.
- **Aide financière pour couvrir les risques à l'innovation.** La mise en place d'une politique visant à favoriser les projets ambitieux permettra l'éclosion d'idées et de techniques prometteuses.
- **Filière industrielle.** Elle n'existe que dans le domaine des fabricants de pompes à chaleur et celui des sociétés de forages spécialisées dans les SGV.

Les carences observées dans les différents domaines de la géothermie (formation, recherche & développement et pilote & démonstration) s'additionnent et ont pour effet d'empêcher qu'une filière de la géothermie se développe en Suisse et atteignent une taille critique. En effet, l'absence d'une formation de base régulière en géothermie n'incite pas les jeunes scientifiques à choisir cette branche et limite d'autant les travaux de recherche pour les Master et les PhD. Le petit nombre d'ingénieurs et de scientifiques isolés dans leurs unités de recherche respectives ne possède pas les ressources humaines suffisantes pour monter des projets de recherche d'envergure et les réaliser.

Finalement, par manque de stimulation et en l'absence d'équipes de recherche disponibles, les chefs de projets de développements géothermiques ne sont pas encouragés à pousser les aspects de recherche appliquée (exploration, mesures en exploitation, modélisation, etc.).

### 1.3 Proposition pour un programme national de développement de la géothermie

En raison des manques et des besoins reconnus, le CREGE a mené une réflexion pendant le premier trimestre de 2007. Celle-ci a conduit à la rédaction d'une proposition soumise à l'OFEN comme un projet pour le montage d'un programme national complet de développement de l'énergie géothermique en Suisse. L'OFEN a donné mandat au CREGE de préparer ce programme, avec l'échéance très courte de rendre le rapport final au 30 novembre 2007.

### 1.4 Etapes du mandat

Le calendrier du projet était un élément relativement intangible, en raison des échéances qui se sont succédées au cours de l'année 2007 (tableau 1).

L'objectif était double. D'une part pouvoir prendre des décisions importantes, dès 2008, pour aboutir à un réel développement sur le moyen et le long terme de la géothermie en Suisse. D'autre part, il s'agissait d'être en phase et proactif quant aux enjeux du développement de la géothermie en rapport avec les questions de politiques énergétiques fédérales et de développement des énergies renouvelables.

**Tableau 1 : Echancier 2007**

Année 2007	Durée (semaine)	Action
Avril - mai	6	Rédaction des premières versions du projet
15 mai	-	Soumission du projet à l'OFEN
14 juin	-	Séance de présentation du projet à l'OFEN
20 juin	-	Signature du contrat par l'OFEN
25 juin	-	Séance de présentation du papier stratégique FEGES à l'OFEN et intégration dans PROGEOTHERM
13 juillet	-	Séance plénière de démarrage à Neuchâtel
16 juillet - 16 août	5	Travail des groupes, séances intermédiaires par groupe
17 août	-	Transmission au chef de projet des textes contenant les idées principales de chacun des groupes
20 - 24 août	1	Compilation et rédaction du rapport préliminaire
27 - 30 août	1	Relecture et édition du rapport préliminaire
<b>31 août</b>	-	<b>Remise du rapport préliminaire à l'OFEN</b>
4-5 septembre	-	Séminaire de 1.5 jours à Neuchâtel
1 oct. – 8 nov.	5	Rédaction détaillée du rapport final
9 - 14 novembre	1	Relecture des experts, mise en consultation, corrections
14 novembre	-	Séance du comité de rédaction à Neuchâtel
15 - 30 novembre	1	Finalisation du rapport, édition, traduction allemande des résumés
<b>30 novembre</b>		<b>Remise du rapport final à l'OFEN</b>

## 1.5 Équipe de projet

Le groupe de travail pour le montage du programme PROGEOTHERM était formée de spécialistes choisis en fonction de leurs domaines de compétence, afin de couvrir chacune des thématiques (tableau 2).

Un séminaire de 1.5 jours à Neuchâtel a réuni l'ensemble de l'équipe de projet, pour un *brainstorming* qui a permis de dégager les directions principales de PROGEOTHERM et de valider le rapport intermédiaire. A partir des conclusions de ce séminaire, la synthèse a ensuite été réalisée par les responsables des différents domaines pour préparer le rapport final du Programme PROGEOTHERM. Celui-ci a ensuite été validé par l'ensemble de l'équipe de projet.

**Tableau 2 : Tâches de l'équipe de projet**

Nom	Institution	Activités
<b>F.-D. Vuataz</b> C. Robert-Charrue	CREGE	Chef de projet, organisation, coordination, édition du rapport Adjoint au chef de projet
<b>F. Zwahlen</b> Th. Kohl P.-A. Haldi L. Rybach	CHYN GEOWATT EPF-Lausanne GEOWATT	Groupe de travail Formation
<b>T. Mégel</b> K. Evans D. Pahud J. Thierrin	GEOTHERMIE.CH ETH-Zurich SUPSI CSD	Groupe de travail Recherche & Développement
<b>G. Bianchetti</b> J.-M. Lavanchy	ALPGEO COLENCO	Groupe de travail Pilote & Démonstration
<b>J. Rognon</b> R. Wyss	CREGE GEOTHERMIE.CH	Groupe de travail Politique, Finance et Information
L. Rybach R. Wyss	GEOWATT GEOTHERMIE.CH	Experts

## 2. Objectif du programme PROGEOTHERM

Depuis un an environ, le débat s'amplifie autour de notre avenir énergétique : pour preuve les nombreuses délibérations aux chambres fédérales et dans les commissions ad hoc, la motion Theiler sur la géothermie profonde, le plan directeur de la recherche énergétique (CORE), l'introduction de tarifs incitatifs pour le rachat de l'électricité produite par les énergies renouvelables, ainsi que la garantie au risque géologique des forages profonds.

Ainsi, pour l'ensemble des raisons mentionnées précédemment et en fonction de l'actualité de la politique énergétique, il est vraiment urgent, si l'on veut réellement développer de manière crédible les différentes technologies de la géothermie, de mettre en place un plan pour un programme national appelé PROGEOTHERM comportant trois domaines indispensables : **Formation, Recherche & Développement, Pilote & Démonstration.**

PROGEOTHERM devrait débuter le plus rapidement possible et être assuré d'un budget de fonctionnement régulier correspondant à ses objectifs. Pour assurer la réalisation d'un certain nombre d'objectifs, sa durée de fonctionnement devrait être garantie pendant deux périodes de 4 ans au minimum.

Ce programme visant à améliorer la base des connaissances de la géothermie en Suisse permettra d'améliorer sensiblement le potentiel d'utilisation de l'énergie géothermique en Suisse, qui est jusqu'à aujourd'hui surtout limité aux sondes géothermiques verticales. PROGEOTHERM prévoit de susciter l'émulation nécessaire pour une véritable relève scientifique sans laquelle la recherche et les applications qui en découlent continueront à stagner, l'ensemble de la géothermie risquant de rester à l'état de veille technologique.

L'objectif général de PROGEOTHERM est de développer des techniques destinées à capter les énormes quantités d'énergie présentes dans les premiers kilomètres de la croûte terrestre, afin de diversifier l'approvisionnement énergétique en Suisse avec une source d'énergie indigène et en même temps de diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> et autres gaz à effet de serre.

Le but de PROGEOTHERM est de préparer les conditions cadre qui permettront de réaliser un programme national de développement de la géothermie en Suisse pour une durée d'au moins 8 ans. Il est clair cependant que cet effort ne devra pas cesser à la fin de cette période.

Pour implémenter la géothermie comme une énergie du futur en Suisse, il faudra accomplir une succession d'actions qui sont fondamentalement liées les unes aux autres:

- Assurer et étendre la formation en géothermie avec une partie des étudiants qui seront intégrés dans la recherche ou dans les entreprises de développement.
- Développer une recherche de base qui conduira à l'investigation des processus responsables de la circulation des fluides géothermiques et à l'évaluation des réservoirs prometteurs.
- Conduire des projets expérimentaux et pilotes permettant d'accumuler un savoir-faire (forages, diagraphies, tests hydrauliques, stimulation des réservoirs, pétrographie, géochimie, etc.) et devant aboutir à un développement économique.

En ce qui concerne le développement de la technologie des systèmes géothermiques stimulés à grande profondeur et haute température (EGS), la durée estimée pour atteindre une maturité technique et économique est encore de l'ordre de 20-25 ans.

Les circonstances et la situation actuelles sur la scène énergétique conduisent le CREGE (Centre de recherche en géothermie), actif depuis trois ans dans la recherche, la formation et la promotion de la géothermie, à travailler au lancement d'une telle initiative. Cette initia-



tive, complémentaire aux activités lancées par l'organisation faîtière GEOTHERMIE.CH sera coordonnée avec celle-ci.

Il faut souligner que les tâches de formation continue et de promotion, dévolues à la SSG/SVG via le programme SuisseEnergie, ne seront ni reprises ni incluses dans PROGEOTHERM et doivent continuer à être soutenues sans baisse de budgets pour la période engagée 2006-2010.

Un groupe de travail issu du réseau de compétences du CREGE a soumis une proposition à l'OFEN en avril 2007 ayant pour but de rédiger dans un délai très court un papier stratégique décrivant les moyens et les conditions à mettre en place pour créer et développer une filière industrielle suisse de la géothermie. Cette proposition a été rapidement acceptée et dès le mois de juillet 2007, un groupe de travail élargi, formé par 12 spécialistes et 2 experts, a commencé une réflexion sur les tâches et le programme à mettre en place. Un rapport intermédiaire a été rédigé et puis transmis à l'OFEN le 31 août 2007. Ce dernier l'a commenté et accepté, permettant la poursuite de la réflexion, afin réaliser un rapport final et de le remettre le 30 novembre 2007.

En parallèle et sous l'égide de l'organisation faîtière GEOTHERMIE.CH, le programme FEGES<sup>1)</sup> de recherche & développement pour la production d'électricité à partir des systèmes géothermiques stimulés (EGS) a été conçu et rédigé par un petit groupe de travail de la SSG/SVG.

La réalisation d'installations de production d'énergie basées sur les EGS fait naître de grands espoirs de capter les énormes réservoirs de chaleur que forment les roches profondes, peu ou non perméables, par la création de fractures hydrauliquement conductrices. Pour y arriver, il y a lieu d'appliquer des technologies qui nécessitent encore un développement important. Ces domaines de recherche visent l'acquisition et le développement des aspects les plus pertinents dans le domaine des EGS. Ils permettront ainsi de mettre en place les bases pour le démarrage du programme FEGES. Ce programme présenté en 2007 par l'organisation GEOTHERMIE.CH prévoit le développement de systèmes EGS profonds et des technologies adaptées, pour la production décentralisée d'électricité et de chaleur.

Le programme FEGES sera initié dans le cadre du domaine Recherche & Développement du programme PROGEOTHERM, qui mettra en place les bases pour créer une coopérative nationale R+D. Par cette procédure, on s'attend à ce que la production d'électricité géothermique en Suisse puisse être déployée dans un délai de 25 ans, comme une option importante de l'alimentation en énergie en Suisse. Un financement et un accompagnement communs de la coopérative nationale FEGES par la Confédération et l'industrie électrique sont nécessaires.

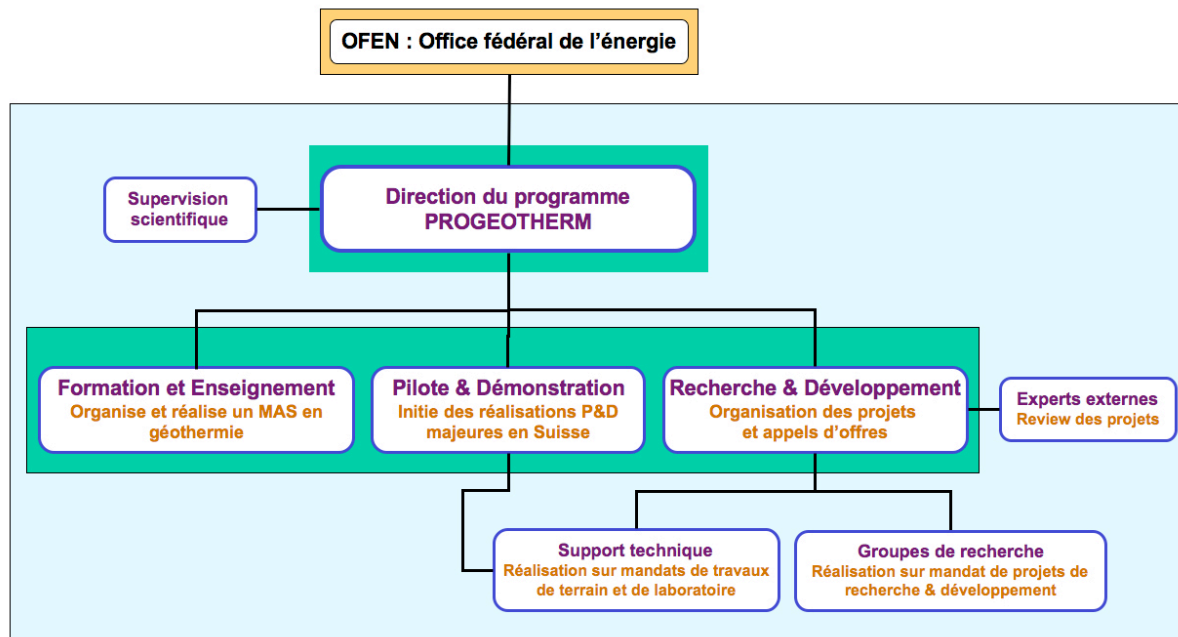
---

<sup>1)</sup> FEGES : Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur geothermischen Stromerzeugung in der Schweiz.

### 3. Contenu du programme

Les trois domaines du programme PROGEOTHERM (Formation, Recherche & Développement, Pilote & Démonstration) sont proposés et décrits ci-après. Un quatrième volet qui assure un soutien stratégique et logistique aux trois principaux domaines est intitulé Politique, Finance et Information.

La structure simplifiée de l'organisation du PROGEOTHERM est présentée dans la figure 1.



**Figure 1 : Organigramme simplifié du fonctionnement du programme PROGEOTHERM**

## **3.1 Formation spécialisée dans les hautes écoles**

### **3.1.1 Master of Advanced Studies (MAS) en géothermie**

Afin de pourvoir au manque de formation dans le domaine de la géothermie, telle qu'elle devrait être dispensée dans les hautes écoles (Universités, EPF), il est prévu de mettre en place une formation permanente et spécialisée sous la forme d'un « Master of Advanced Studies » (MAS) en géothermie.

L'essentiel de la formation continue existant en Suisse doit continuer d'être du ressort de SuisseEnergie via le mandat de géothermie attribué à la SSG/SVG, et qui vise essentiellement les Hautes écoles spécialisées (HES). Cependant, le programme PROGEOTHERM prévoit également un renforcement de ces formations continues existant dans les HES.

Actuellement, une formation complète en géothermie manque surtout au sein des universités et des EPF. Pour pouvoir garantir une formation au niveau d'un MAS, il faudra établir une structure sur le long terme dans une haute école. Ainsi il sera possible de garantir la tenue d'un programme cohérent et complet de cours et de travaux pratiques, ainsi qu'une bonne spécialisation des étudiants.

En raison du petit nombre de spécialistes disponibles en Suisse pour assurer un enseignement régulier, il faudra s'adjoindre les compétences de l'ensemble des forces existantes au sein des EPF, des universités, des HES, sans oublier les praticiens dans les bureaux d'ingénieurs. Il faudra également chercher de l'aide à l'étranger auprès d'institutions et de personnes expérimentées en géothermie.

Dans les tableaux de l'Annexe 1 se trouvent les premiers éléments du plan d'un « Master of Advanced Studies » (MAS) en géothermie qui devrait être mis sur pied à l'Université de Neuchâtel dès la rentrée universitaire de 2009, en liaison avec la création d'une chaire de professeur en géothermie à l'Institut de géologie et d'hydrogéologie de cette université.

Le MAS en géothermie se déroulera sur 2 semestres (60 ECTS) et comprendra un premier semestre de cours, exercices et visites, et un deuxième semestre comprenant un stage en entreprise et un projet de recherche personnel. L'enseignement sera donné en anglais et le public-cible inclura des MSc ou diplômes jugés équivalents dans les domaines suivants : sciences de la terre, sciences de l'ingénieur, hydrogéologie, géophysique, sciences de l'énergie, etc. L'objectif principal est de former des spécialistes en géothermie, capables de monter, planifier et conduire des projets en géothermie.

Ce MAS en géothermie prévoit un subside du programme PROGEOTHERM de 300'000 CHF, auquel il faut ajouter environ 40'000 CHF par an pour contribuer à la mise sur pied et au fonctionnement d'un Laboratoire de géothermie/pétrophysique (Annexe 1).

### 3.1.2 Formation dans les hautes écoles spécialisées (HES)

Afin de soutenir et de développer la formation de manière plus large auprès des ingénieurs, des cours dans les Hautes écoles spécialisées seront proposés, initiés et aidés financièrement par le programme PROGEOTHERM. Naturellement, des synergies seront engagées avec les formations existantes dans les HES et avec le programme de formation continue de la SSG/SVG. Un budget annuel de l'ordre de 60'000 CHF sera réservé à cet effet.

Le tableau 3 présente les montants consacrés à la formation et dont le détail se trouve dans l'Annexe 1.

**Tableau 3 : Synthèse du budget du domaine de la Formation**

Activités	Montants (milliers CHF)				
	2008	2009	2010 – 2011	2012 – 2015	Total Formation
Durée	(1/2 an)	(1 an)	(2 ans)	(4 ans)	2008 – 2015
Fonctionnement du MAS en géothermie (cas pour 10 participants)	100	300	600	1'200	<b>2'200</b>
Budget de fonctionnement du labo de pétrophysique	20	60	80	160	<b>320</b>
Soutien à la formation dans les hautes écoles spécialisées (HES)	30	60	120	240	<b>450</b>
<b>Totaux</b>	<b>150</b>	<b>420</b>	<b>800</b>	<b>1'600</b>	<b>2'970</b>

## **3.2 Recherche & Développement**

### **3.2.1 Introduction**

En Suisse, plusieurs milliers de sondes géothermiques verticales permettant le chauffage de maisons individuelles sont construites chaque année depuis plus de 20 ans. Elles captent la chaleur des terrains à basse température (5 à 15 °C) et montrent qu'il est économiquement rentable de capter la chaleur du sous-sol. La température des terrains augmente avec la profondeur de 30-35°C par km en moyenne<sup>1)</sup>, ce qui représente jusqu'à une profondeur de 5 km (température de 160-185°C à cette profondeur) un potentiel énergétique bien plus considérable que celui capté par les installations de subsurface. L'utilisation de cette chaleur permettrait d'alimenter des réseaux de chauffage et de produire aussi de l'électricité. Actuellement, seuls quelques réseaux de chauffage urbains, ainsi que les stations thermales utilisent le potentiel énergétique des aquifères profonds. Les raisons majeures expliquant pourquoi cette énergie naturelle, indigène, renouvelable et ne produisant pas de CO<sub>2</sub> n'est pas mieux exploitée, sont les suivantes :

- le risque d'échec des forages profonds n'est pas couvert et,
- les bases scientifiques et techniques ainsi que les connaissances régionales pour capter cette énergie ne sont pas assez développées.

L'objectif du domaine Recherche & Développement du programme PROGEOTHERM est d'améliorer la situation concernant le deuxième point ci-dessus, d'une manière telle que les pouvoirs publics et les entreprises privées puissent intégrer l'option géothermie dans leurs choix énergétiques sans une trop grande prise de risque. Il s'agit de préparer le développement de la géothermie en Suisse pour les prochaines décennies.

Le plan de recherche présenté dans ce chapitre couvre les divers aspects de la géothermie en Suisse et ne se limite pas aux seules applications existantes.

Ce plan inclut des aspects théoriques, la mise au point d'outils de modélisation, la prospection de ressources, l'évaluation de potentiels locaux et régionaux, des études en laboratoire, l'organisation de programmes de mesures sur le terrain et dans des installations, sans oublier des collaborations internationales.

Des synergies d'ordre financier pourront être mises en place avec des organismes comme le Fonds national de la recherche scientifique, l'Agence pour la promotion et l'innovation (CTI/KTI), SwissElectric, le Competence Center Energy and Mobility (CCEM-EPF), le Competence Center Environment and Sustainability (CCES-EPF), le programme-cadre FP7 de l'UE, ainsi que des partenariats public-privé.

Des synergies de collaborations scientifiques seront bien entendu proposées aux chercheurs et aux institutions des Universités, EPF, HES ainsi qu'aux entreprises intéressées en Suisse et à l'étranger. Des contacts et des participations avec des projets internationaux menés notamment dans le cadre de l'IEA et de l'UE seront très profitables pour le développement de la recherche prévue dans le cadre de PROGEOTHERM.

Pratiquement, les matières théoriques et fondamentales de cette recherche seront réalisées en Suisse par des Hautes écoles, dans le cadre de diplômes de Master (MSc), de travaux de fin de « Master of Advanced Studies » (MAS), de thèses de doctorat (PhD) et de recherches postdoctorales. Les matières pratiques de cette recherche pourront aussi être effectuées sur mandat par des entreprises et des bureaux privés spécialisés.

---

<sup>1)</sup> Au sud du fossé rhénan, notamment dans la région de Bâle, le gradient géothermique peut atteindre 40°C/km, et même plus dans certaines zones de remontées hydrothermales.

L'effort de recherche du programme PROGEOTHERM sera essentiellement dirigé vers les systèmes ouverts de moyenne et grande profondeur tels que les aquifères profonds et les systèmes géothermiques stimulés profonds (EGS). Une part des fonds est prévue pour la mise en place d'installations ou des compléments de construction d'installations. Un effort de recherche de moindre importance sera toutefois attribué au développement de systèmes de faible profondeur, pour autant qu'il serve aussi à la recherche sur les systèmes de moyenne et grande profondeur.

Une brève information sur les divers systèmes géothermiques et l'état de leur développement technologique est présentée dans l'Annexe 2.

La suite de ce chapitre présente :

- les objectifs généraux de la recherche en géothermie (§ 3.2.2) ;
- les besoins généraux de Recherche & Développement en géothermie (§ 3.2.3) ;
- une liste des priorités thématiques de recherche prévues dans le cadre du programme PROGEOTHERM pour la recherche géothermique en Suisse.

### **3.2.2 Objectifs généraux de la recherche en géothermie**

La recherche appliquée et le développement pour l'utilisation de l'énergie géothermique poursuivent différents objectifs généraux :

- Identification des ressources exploitables.
- Évaluation des risques associés à l'exploitation de la ressource.
- Amélioration de la sécurité de la planification.
- Simplification des installations.
- Amélioration de l'indépendance des conditions géologiques.
- Diminution des coûts d'installation
- Diminution des coûts d'exploitation.

Pour certains systèmes ou composants de systèmes déjà commercialisés, de nombreuses activités de recherche appliquée sont menées par les ingénieurs spécialisés et l'industrie, en particulier dans les secteurs de la planification et de l'optimisation des systèmes.

Par contre, le développement fondamental de systèmes ou de réelles nouveautés, surtout dans le secteur de la géothermie profonde, dépasse les possibilités du secteur privé. De même, l'apport des preuves du potentiel géothermique de telle ou telle région, ne peut pas être supporté par des PME ou des collectivités locales. Dans ce cas, l'impulsion de l'innovation doit se faire avec l'aide des pouvoirs publics, jusqu'à ce que l'économie se charge du développement ultérieur pour l'intégration sur le marché.

En tenant compte de cette situation, les informations contenues dans le tableau 4 servent de fil conducteur pour définir des priorités (§ 3.2.4) du domaine Recherche & Développement de la géothermie en Suisse, pour les deux prochaines décennies.

### 3.2.3 Besoins généraux du domaine Recherche & Développement

Les tableaux 4 et 5 ci-dessous présentent pour les systèmes décrits en Annexe 2, les besoins de Recherche & Développement pour lesquels un financement public ou en association avec le secteur privé est nécessaire.

**Tableau 4 : Besoins de Recherche & Développement pour les systèmes géothermiques à basse température**

Systèmes	Obstacles principaux	Besoins de Recherche & Développement
Énergie des nappes phréatiques	Risques liés à la perméabilité inhomogène. Problèmes liés à la maintenance des installations.	Solutions pour les problèmes de colmatage. Standards d'utilisation thermique des nappes. Diminution des coûts de maintenance. Évaluation de la perméabilité des terrains. Compléments importants à la cartographie du potentiel géothermique de basse et moyenne température en Suisse.
Eaux drainées des tunnels	Utilisation : présence simultanée d'un tunnel et de consommateurs.	Définir des standards pour le captage et l'utilisation des eaux lors de la construction des tunnels.
Sondes géothermiques verticales	Risque concernant la protection des eaux souterraines. Faible différence de température entre les circuits chauffés et refroidis des sondes, impliquant une efficacité énergétique réduite par rapport aux systèmes dans les nappes phréatiques.	Peu de recherche fondamentale, surtout R&D en laboratoire et sur le terrain pour l'optimisation des composants : - Étude des risques de pollution des eaux souterraines par les liquides caloporteurs. - Nouveaux fluides caloporteurs et additifs. - Analyses du vieillissement des sondes. - Amélioration des matériaux de remplissage.
Champs de sondes géothermiques	Investigations préliminaires plus approfondies. Importance d'un concept énergétique performant. Difficulté de planifier.	Idem ci-dessus et en particulier: - Standards pour les outils de planification. - Surveillance scientifique d'installations pilote. - Établissement de règles minimales de dimensionnement. - Développement du stockage saisonnier de chaleur à moyenne et haute température (sans pompe à chaleur). - Standards de dimensionnement. - Procédures de calcul pour la planification des ouvrages et plateforme Internet pour diffuser des outils de calcul.



Systèmes	Obstacles principaux	Besoins de Recherche & Développement
Géostructures énergétiques	<p>Acceptation de l'effet thermique sur le rôle statique des géostructures.</p> <p>Travail pluridisciplinaire de planification.</p>	<p>Standards pour outils de calcul et de planification.</p> <p>Suivi et quantification de l'influence thermique sur les pieux et leurs propriétés statiques.</p> <p>Recherche &amp; Développement pour l'utilisation de la chaleur des structures des autres constructions souterraines (tunnels, parois moulées, etc.).</p> <p>Standards de dimensionnement.</p> <p>Procédures de calcul pour la planification des ouvrages et plateforme Internet pour diffuser des outils de calculs.</p>

**Tableau 5 : Besoins de Recherche & Développement pour les systèmes géothermiques à haute température**

Systèmes	Obstacles principaux	Besoins de R&D : financement public ou en association avec le secteur privé
Aquifères profonds (>400m)	<p>Risque d'échec géologique : faible perméabilité de l'aquifère et parfois qualité défavorable des fluides.</p> <p>Insuffisance des méthodes d'exploration pour identifier la perméabilité naturelle des terrains.</p> <p>Manque de développement des méthodes de stimulation de la perméabilité des réservoirs.</p> <p>Coûts de l'exploration et risque à l'innovation.</p> <p>Risque de colmatage et de corrosion des forages.</p>	<p>Réinterprétation et synthèse des données de la sismique pétrolière en Suisse.</p> <p>Cartes des ressources géothermiques des aquifères profonds.</p> <p>Évaluation des lithologies présentant les meilleures perméabilités des aquifères potentiels.</p> <p>Synthèse des données de la NAGRA pour définir les caractéristiques géothermiques des aquifères profonds potentiels (Plateau suisse).</p> <p>Définition des grands systèmes de failles et corrélation avec les zones perméables.</p> <p>Investigation géophysique des secteurs les plus prometteurs.</p> <p>Développement des méthodes d'exploration des zones perméables des aquifères profonds.</p> <p>Participation à la construction de doublets géothermiques en aquifères profonds comme P&amp;D (co-financement d'opérations).</p> <p>Développement théorique et pratique des méthodes de stimulation de la perméabilité des aquifères profonds, par voie hydraulique et chimique.</p> <p>Développement de techniques permettant de maîtriser la chimie des fluides hydrothermaux dans les doublets géothermiques.</p>

Systèmes	Obstacles principaux	Besoins de R&D : financement public ou en association avec le secteur privé
Systèmes géothermiques stimulés profonds (EGS)	<p>La gradation des conditions entre la mise en valeur d'un aquifère profond et la création d'un système EGS est continue : elle se distingue par la méthode et le degré du traitement technique appliqué à la roche pour assurer la perméabilité nécessaire.</p> <p>Les technologies EGS sont caractérisées par la capacité à maîtriser la productivité indépendamment des conditions géologiques en forçant techniquement la fracturation de la roche afin de développer une nouvelle perméabilité de fissures.</p> <p>Les obstacles techniques restent fondamentaux:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Création contrôlée de la perméabilité nécessaire dans des conditions géologiques différentes.</li> <li>- Maîtrise des techniques de fracturation pour limiter les impacts des événements sismiques pendant les phases de stimulation des roches.</li> <li>- Coûts très élevés.</li> </ul>	<p>Synthèse de la littérature focalisée sur des problèmes spécifiques aux EGS.</p> <p>Amélioration de la communication entre les différents groupes de recherche suisses, travaillant sur la problématique EGS.</p> <p>Recherche EGS avec des applications à profondeur réduite (profondeurs optimales de 1 à 3 km) sur un ou plusieurs forages réalisés spécifiquement pour cet objectif ; orienter également la recherche dans le domaine des aquifères profonds vers des applications EGS, lorsque les conditions le permettent ou l'exigent.</p> <p>Compréhension des processus engendrant un risque sismique et évaluation de ce risque pour des sites EGS potentiels.</p> <p>Développer des techniques de stimulation ne causant pas de dégâts en surface et/ou ne dérangeant pas la population.</p> <p>Étude des processus de circulation des fluides dans les fractures réalisées.</p> <p>Cartographie à l'échelle de la Suisse, des secteurs à plus grande potentialité pour la mise en place de systèmes EGS.</p> <p>Proposition de pilotes R&amp;D :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essais génériques de fracturation/stimulation des roches à 1-3 km de profondeur : étude des processus pour diverses conditions géologiques.</li> <li>- Forage de 5 km à Bâle : étude des modifications du réservoir induites par la stimulation hydraulique de 2006.</li> </ul>

### 3.2.4 Priorités pour le domaine R&D du programme PROGEOTHERM

Le tableau 6 ci-dessous présente de manière succincte les priorités de recherche de base et appliquée nécessaires pour donner une impulsion déterminante au développement de la géothermie en Suisse, en tant que ressource énergétique d'importance, dans le cadre du plan d'action pour les énergies renouvelables de l'OFEN. L'effort de recherche concerne surtout les systèmes profonds à haute température. Chaque objectif est développé à la suite de ce tableau.

En plus des recherches de base et appliquées en laboratoire, des sites-tests pour quelques d'applications géothermiques spécifiques devront être trouvés et utilisés avec les objectifs suivants :

- Réaliser des mesures et des modélisations utiles au développement des technologies ainsi qu'à la compréhension des mécanismes.
- Tester et développer des technologies aidant au captage des ressources géothermiques.

Une grande part de la recherche proposée doit se faire en synergie avec des équipes de recherche et des projets existants. Elle est prévue également sur des projets à développer avec des entreprises privées et des collectivités, dans le cadre du domaine Pilote & Démonstration du programme PROGEOTHERM.

**Tableau 6 : Résumé des priorités pour le domaine Recherche & Développement du programme PROGEOTHERM**

Systèmes	Priorités pour la R&D de PROGEOTHERM
Systèmes géothermiques de basse température et faible profondeur	Projets de recherche spécifiques d'ampleur limitée et pouvant également servir au développement de la géothermie des systèmes profonds à haute température.
Aquifères profonds (>400m)	<p>A. Évaluation du potentiel géothermique des aquifères profonds en Suisse : synthèse et interprétation des données et définition des structures et des secteurs d'aquifères profonds qui présentent les meilleurs potentiels géothermiques.</p> <p>B. Développement et application des méthodes d'exploration des zones perméables des aquifères profonds.</p> <p>C. Investigations géophysiques des secteurs aquifères profonds les plus prometteurs pour la mise en place de doublets géothermiques.</p> <p>D. Participation à la construction de doublets géothermiques dans les principaux aquifères profonds.</p> <p>E. Développement des méthodes de stimulation de la perméabilité des aquifères profonds.</p> <p>F. Maîtrise des équilibres chimiques des fluides hydrothermaux pour l'exploitation des doublets géothermiques.</p>

Systèmes	Priorités pour la R&D de PROGEOTHERM
Systèmes géothermiques stimulés profonds (EGS)	<p>A. Synthèse et bilan des informations relatives aux technologies liées aux EGS.</p> <p>B. Étude du risque sismique associé à la mise en place de systèmes EGS.</p> <p>C. Acquisition et utilisation des informations que peut fournir le forage Basel-1 de 5 km de profondeur.</p> <p>D. Contribution au développement des techniques de fracturation de la roche dans des forages de 1 à 3 km de profondeur.</p> <p>E. Étude des processus de circulation des fluides dans les fractures des systèmes EGS.</p> <p>F. Réalisation de systèmes EGS.</p>

### ***Systèmes géothermiques ouverts et fermés de faible et moyenne profondeur (basse enthalpie)***

Les systèmes géothermiques de basse enthalpie, décrits dans l'Annexe 2, mettent en œuvre des technologies largement développées et techniquement mûres. Celles-ci peuvent s'imposer avec succès sur le marché. Comme indiqué au § 3.2.3, un potentiel de R&D existe encore dans de nombreux secteurs. Cependant, ces technologies peuvent se développer sans le soutien essentiel de la part des services publics. Seuls des projets spécifiques d'ampleur limitée et pouvant également servir au développement de la géothermie des systèmes profonds à haute température, sont pris en compte dans le cadre du programme PROGEOTHERM. Il s'agit des recherches suivantes :

- Contribution à la cartographie des potentiels et des ressources géothermiques en Suisse.
- Solutions pour les problèmes de colmatage des installations et des échangeurs de chaleur.
- Élaboration de standards de planification et de diffusion des outils de calcul en géothermie basse température.
- Réalisation de standards pour l'utilisation thermique des nappes phréatiques et essais de diminution des obstacles entre la pratique de la géothermie et la législation environnementale.

### ***Aquifères profonds***

Les informations géologiques régionales permettent d'affirmer qu'il existe des couches aquifères profondes entre 1 et 6, voire 7 km de profondeur, essentiellement sous le Plateau suisse et dans les Alpes et, de manière moins nette, dans la chaîne du Jura et au sud des Alpes. Avec un gradient géothermique moyen de 30°C/km, la température de l'eau de certains aquifères peut largement dépasser les 100 °C, ce qui permettrait de produire également de l'électricité. Dans les régions mentionnées, il y aurait la possibilité de mettre en place plusieurs dizaines, voire centaines de doublets géothermiques. Ce potentiel doit être évalué dans le cadre du programme PROGEOTHERM.

Afin de donner une impulsion déterminante à l'exploration et l'exploitation de cette ressource énergétique renouvelable, l'équipe du programme PROGEOTHERM considère comme prioritaires les objectifs de Recherche & Développement suivants.

## A. Évaluation du potentiel géothermique des aquifères profonds en Suisse

Il s'agit d'un projet de recherche visant à synthétiser et diffuser les informations lithologiques, géologiques, hydrogéologiques et tectoniques de la Suisse, dans le but d'individualiser les aquifères profonds dont le potentiel pour la mise en place de doublets géothermiques est le plus grand. Ce projet implique la synthèse des données existantes sur les structures profondes, déduites des campagnes de prospection pétrolière (réinterprétation et synthèse des données), des données de la NAGRA, des données de télédétection et des autres données de forages profonds. L'objectif est de définir les lithologies les plus perméables et les structures présentant les meilleures probabilités de la présence de fractures ouvertes et aquifères.

Ceci implique un travail de synthèse, d'interprétation et de cartographie. Des recherches analogues ont déjà eu lieu pour certaines régions ou certains thèmes. Il s'agira dans ces cas de compiler et exploiter les informations en synergie avec les équipes qui ont déjà travaillé dans ces domaines. Les objectifs à long terme de cette évaluation des ressources est de compléter la carte générale des potentiels géothermiques de la Suisse, de produire des documents de synthèse sur les structures géologiques profondes de la Suisse, et de produire une carte des structures et des portions d'aquifères profonds qui présentent les meilleurs potentiels géothermiques pour une exploitation par doublets géothermiques.

## B. Développement et application des méthodes d'exploration des zones perméables des aquifères profonds

Une des grosses difficultés pour l'hydrogéologue est de définir l'emplacement des zones les plus perméables des aquifères pour le captage de l'eau souterraine. Forcément, plus l'aquifère est profond, plus cette difficulté augmente et plus la nécessité d'intégrer plusieurs approches différentes s'avère primordiale. La perméabilité à l'eau des roches peut se présenter sous trois formes différentes : d'une part par l'interconnexion de pores dans la matrice de la roche, d'autre part par la présence de fractures ouvertes ou peu colmatées, affectant la roche et enfin, dans les roches relativement solubles comme les calcaires, par la présence de conduits dans la roche, créés par dissolution.

Une très large palette de techniques permet d'évaluer l'extension de l'une ou l'autre de ces formes de perméabilité de la roche en subsurface et en profondeur. Ces techniques sont par exemple l'étude sédimentologique des roches perméables, l'étude dynamique des équilibres chimiques des fluides dans le milieu rocheux, la modélisation des mouvements tectoniques anciens et actuels, l'interprétation des séismes, la télédétection et la géophysique sismique ou électromagnétique. L'application de ces méthodes d'exploration et le croisement des informations qu'elles fournissent a pour but de mieux cibler les aquifères et les structures perméables de grande profondeur qui seront désignés comme candidats au captage de l'énergie géothermique. Pour la plupart de ces méthodes, un effort de développement technique et numérique est nécessaire pour obtenir une information plus précise dans le contexte des systèmes géothermiques profonds.

## C. Investigations géophysiques des secteurs aquifères profonds les plus prometteurs pour la mise en place de doublets géothermiques

En collaboration avec le domaine Pilote & Démonstration, le projet prévoit la recherche appliquée par prospection géophysique haute définition d'environ 10 sites très favorables parmi les candidats au captage de l'énergie d'aquifères profonds par doublets géothermiques. Cette investigation permettra d'évaluer la pertinence d'autres approches plus globales et moins coûteuses, telles que la télédétection et l'utilisation des données géologiques et tectoniques pour la localisation des grandes fractures, la modélisation tectonique pour l'évaluation du degré de fracturation dans les zones de failles, ainsi que la modélisation couplée hydro-

géologique et géothermique pour simuler les flux de chaleur observés. Elle permettra aussi d'apporter des informations concrètes pour la planification d'installations pilote ou pour convaincre des investisseurs à entreprendre des travaux de captage profond.

#### D. Participation à la construction de doublets géothermiques dans les principaux aquifères profonds

La construction de deux à quatre doublets géothermiques dans les aquifères principaux du Plateau suisse en tant qu'installations pilote pour la recherche et la démonstration (profondeur de 2'000 à 3'000 et température de  $>60$  à  $>100^{\circ}\text{C}$ ) est souhaitable pour tester des méthodes d'exploration et de stimulation et pour définir les potentialités de captage de l'énergie de ces importants aquifères. La participation de PROGEOTHERM dans de telles constructions se fera en collaboration avec l'équipe P&D du programme. La forme d'une telle participation reste encore ouverte. Il peut s'agir d'une contribution scientifique à une réalisation dont le financement est totalement assuré de manière indépendante au programme PROGEOTHERM ou alors d'un financement partiel de la réalisation d'un forage, accompagné du suivi scientifique.

Une telle participation pourrait se justifier par un intérêt scientifique et de démonstration et pourrait se traduire par exemple avec le test d'une technique particulière dans le développement d'un forage ou par la prolongation d'un forage à des fins de recherche. Le montage d'une telle participation ne peut pas être connu actuellement avec précision. Son but est de donner un soutien décisif à une réalisation en phase avec le projet de développement de la géothermie des aquifères profonds de Suisse, tout en acquérant des informations supplémentaires permettant de mieux planifier l'installation en question ou d'autres installations. Il serait souhaitable dans ce contexte que la Confédération investisse massivement pour la construction intégrale de deux ou trois doublets géothermiques en aquifères profonds pour donner une forte impulsion à l'accomplissement de telles installations. Le cadre financier d'une telle opération dépasse largement le budget demandé par le présent projet.

#### E. Développement des méthodes de stimulation de la perméabilité des aquifères profonds

Ce point est intimement lié au précédent car, un doublet géothermique ne peut fonctionner que si les deux forages présentent une perméabilité suffisante. Il s'agit donc d'un domaine crucial pour améliorer la zone de captage et la connectivité du réservoir géothermique. En milieu aquifère, diverses techniques hydrauliques et chimiques d'augmentation de la perméabilité peuvent être utilisées. Il ne s'agit pas comme pour les EGS (cf. ci-après) d'occasionner une nouvelle fracturation de la roche, mais d'ouvrir et d'améliorer la perméabilité à l'eau de structures perméables ou fracturées existantes. Dans ce contexte, des méthodes ont été développées et sont éprouvées pour le développement de la perméabilité d'aquifères peu profonds. Par ailleurs, les entreprises pétrolières ont développé depuis longtemps des méthodes pour améliorer la perméabilité dans les réservoirs de pétrole.

Cependant, en ce qui concerne les aquifères profonds avec une température proche ou supérieure à  $100^{\circ}\text{C}$ , le développement théorique et pratique de méthodes est encore nécessaire car les expériences pratiques sont encore rares. L'objectif de ce point est de synthétiser les informations concernant les méthodes applicables dans les divers types d'aquifères profonds en Suisse tels que les zones fracturées profondes calcaires ou siliceuses, les aquifères poreux calcaires ou gréseux, ainsi que les aquifères fracturés calcaires ou siliceux. Il s'agit également de développer des méthodes pour évaluer théoriquement, en laboratoire et dans le terrain à petite échelle, quels sont les processus de décolmatage et de stimulation, afin de mieux adapter les techniques dans la pratique.

## F. Maîtrise des équilibres chimiques des fluides hydrothermaux dans les doublets géothermiques

Ce domaine a fait l'objet de nombreux développements durant les dernières décennies et progresse encore. L'objectif est de pouvoir calculer les équilibres chimiques en présence dans les fluides produits et réinjectés ainsi que les interactions eau-roche, afin d'éviter ou prévenir les processus de dépôt de minéraux (colmatage) ou de dissolution (corrosion) dans le milieu aquifère, le long des tubages et dans les échangeurs de chaleur des installations, pour divers types de fluides hydrothermaux et diverses matrices rocheuses.

### ***Systèmes géothermiques stimulés profonds (EGS)***

La possible réalisation de tels systèmes fait naître de grands espoirs de capter l'énergie des énormes réservoirs de chaleur que forment les roches profondes peu ou non perméables, par la création de fractures hydrauliquement conductrices. Pour atteindre cet objectif, il y a lieu d'appliquer des technologies qui nécessitent encore un développement important. L'équipe du programme PROGEOTHERM recommande de donner une impulsion importante dans le développement de ces technologies comme indiqué dans les quatre points ci-dessous. Ces projets de recherche visent l'acquisition et le développement des aspects les plus pertinents dans le domaine des EGS. Ils permettront ainsi de mettre en place les bases pour le démarrage du **programme FEGES**.

Le programme FEGES a été présenté en 2007 par l'organisation faîtière GEOTHERMIE.CH. Il prévoit le développement de systèmes EGS profonds et des technologies adaptées, pour la production décentralisée de chaleur et d'électricité. Ce programme FEGES sera initié dans le cadre du domaine Recherche & Développement du programme PROGEOTHERM, qui mettra en place les bases pour créer une coopérative nationale R&D. Par cette procédure, on s'attend à ce que la production d'électricité géothermique en Suisse puisse être déployée dans un délai de 20 à 25 ans, comme une option importante de l'alimentation en énergie en Suisse. Un financement et un accompagnement communs de la coopérative nationale FEGES par la Confédération et l'industrie électrique sont souhaités.

## A. Synthèse et bilan des informations relatives aux technologies liées aux EGS

Ces technologies concernent principalement la réalisation de champs de fractures de grandes dimensions dans les massifs rocheux profonds, la surveillance sismologique et l'interprétation des données sismiques destinées à définir les zones où les fractures se forment. Elles concernent aussi les processus hydrauliques, les échanges thermiques, les équilibres chimiques et les interactions fluide-roche, ainsi que les diagraphies en forages profonds. L'objectif est de définir la meilleure voie pour progresser dans le développement des EGS en se basant sur les expériences de tous les sites d'expérimentation EGS et les équipes de recherche qui fonctionnent actuellement. Ce travail doit être fait en synergie avec ces dernières, en collaborant particulièrement avec les partenaires actifs dans ce domaine en Suisse. Une étude focalisée sur certaines expériences acquises devra être conduite, plutôt qu'un examen complet de l'immense littérature existant sur les systèmes EGS.

## B. Étude du risque sismique associé à création de systèmes EGS

L'objectif est d'identifier les facteurs qui occasionnent le plus grand risque sismique et de définir, respectivement contribuer au développement des techniques qui permettront de diminuer ce risque. Dans ce domaine, il est nécessaire de développer en collaboration avec les sismologues, des outils de modélisation numérique permettant d'évaluer le risque sismique en tenant compte des contraintes induites par les divers types de tests de fracturation, la nature des roches concernées et la profondeur des tests. Par ailleurs, les recherches doivent

évaluer les mécanismes de transmission des pressions dans la roche, occasionnés par les diverses techniques hydrauliques et éventuellement chimiques de fracturation, respectivement d'ouverture de la roche.

### C. Acquérir et utiliser les informations que peut fournir le forage Basel-1

Suite aux événements sismiques de décembre 2006, les travaux ont été stoppés. Il s'agit de réaliser un programme d'acquisition de données destiné à définir les changements qui ont eu lieu dans les environs du forage et dans la section ouverte du trou où ont eu lieu les tests de fracturation à fin 2006. Pour accomplir ce plan, il sera nécessaire de nettoyer le forage, de réaliser de nouveaux logs géophysiques et de procéder à des essais de pompage. En attendant la reprise éventuelle du projet DHM-Bâle, il ne sera pas possible pour des raisons évidentes de procéder à des injections de fluide. Ces informations pourront être croisées avec les interprétations en cours du monitoring sismique haute définition, lors des tests de fracturation. L'objectif est d'évaluer les effets des tests de fracturation hydrauliques effectués et de tirer les meilleurs enseignements possibles de ce forage pour contribuer au développement de la technologie EGS.

### D. Contribution au développement des techniques de fracturation de la roche dans des forages de 1 à 3 km de profondeur

Les techniques visant la création de zones perméables par fracturation de la roche (technologies de stimulation) doivent être développées. Dans ce cadre, une part des fonds du programme est sollicitée pour améliorer les connaissances dans ce domaine par le financement de tests de fracturation dans des forages en cours de réalisation ou des forages abandonnés et qui se prêteraient à de tels tests. Ceux-ci doivent être conduits en collaboration avec des équipes de chercheurs et des sociétés de service spécialisées. L'objectif est de comprendre les processus permettant de fracturer la roche profonde et chaude pour diverses conditions géologiques.

### E. Étude des processus de circulation des fluides dans les fractures des réservoirs EGS

La compréhension des processus physiques, hydrauliques et chimiques permet de mieux dimensionner les installations, de planifier les quantités de chaleur qu'il sera possible de capter. La modélisation des processus couplés, et notamment des écoulements réactifs dans les systèmes EGS autorisera la prévision de leur comportement à long terme. Ce domaine rejoint en partie les préoccupations analogues concernant l'étude du captage de chaleur des aquifères profonds.

### F. Réalisation de systèmes EGS

Dans une deuxième phase du programme PROGEOTHERM, lorsque les objectifs de recherche cités ci-dessus seront en grande partie atteints, il serait souhaitable que la Confédération investisse massivement pour la construction intégrale de un ou deux systèmes EGS profonds afin de donner une impulsion décisive à la réalisation de telles installations. Le cadre financier d'une telle opération dépasse bien sûr largement le budget demandé par le présent programme.



### 3.2.5 Budget du domaine Recherche & Développement

Le budget de chacun des domaines de la recherche a été évalué de manière différente en fonction des années, avec une précision décroissante de 2008 à 2011. Une estimation pour l'enveloppe financière globale est également proposée dans les différentes sections du tableau 7 et synthétisée dans le tableau 8.

**Tableau 7 : Descriptif des budgets pour le domaine Recherche & Développement des années 2008 à 2015**

Budget Recherche & Développement pour 2008 (6 mois)	Montants (milliers CHF)
1. Mise en place d'un comité de recherche d'environ 7 membres ; consultations des milieux concernés par le projet, définition des projets, affinement des priorités, appels d'offres pour des études spécifiques, honoraires des membres du comité de recherche.	300
2. Évaluation des ressources géothermiques des aquifères profonds en Suisse, rassemblement des données, premières synthèses.	200
3. Première synthèse et bilan des informations relatives aux technologies liées aux EGS.	100
<b>Total Recherche 2008</b>	<b>600</b>

Budget Recherche & Développement pour 2009 (12 mois)	Montants (milliers CHF)
1. Définition des projets de recherche, consultation des milieux concernés, direction des études, organisation et gestion du programme PROGEOTHERM, honoraires des membres du comité de recherche.	500
2. Projets de recherche spécifiques d'ampleur limitée dans le domaine de la basse enthalpie.	50
3. Évaluation des ressources géothermiques des aquifères profonds en Suisse, rassemblement des données, synthèses et cartographies ; évaluation des méthodes d'exploration des zones perméables des aquifères profonds.	600
4. Synthèse et bilan des informations relatives aux technologies liées aux EGS. Premières études du risque sismique associé à la mise en place de systèmes EGS.	400 200
5. Contribution à l'acquisition des informations que peut fournir le forage Basel-1. Une contribution significative aux coûts d'acquisition de ces informations par le projet PROGEOTHERM permettrait de débloquer la majorité des fonds nécessaires à ces travaux. Une collaboration avec Geopower-Basel AG et leurs soutiens industriels est primordiale pour réaliser cette tâche.	1'000
6. Développement des techniques de fracturation de la roche dans des forages de 1 à 3 km de profondeur : évaluations et premiers travaux.	50
<b>Total Recherche 2009</b>	<b>2'800</b>

<b>Budget Recherche &amp; Développement 2010 et 2011 (2 ans)</b>	<b>Montants (milliers CHF)</b>
1. Définition des projets de recherche, consultation des milieux concernés, direction des études, organisation et gestion du programme PROGEOTHERM, honoraires des membres du comité de recherche.	800
2. Projets de recherche spécifiques d'ampleur limitée dans le domaine de la basse enthalpie.	200
3. Évaluation des ressources géothermiques des aquifères profonds en Suisse : synthèse des travaux ; évaluation et contribution au développement de méthodes spécifiques d'exploration des zones perméables des aquifères profonds ; investigation géophysique d'environ 10 secteurs d'aquifères profonds prometteurs pour la mise en place de doublets géothermiques ; participation à des projets de recherche sur les aspects de la chimie des fluides (dépôts, colmatage, dissolution, corrosion) dans les installations et dans les aquifères.	3'000
4. Participation à la construction de 2 doublets géothermiques en aquifères profonds et développement des méthodes de stimulation de la perméabilité des aquifères profonds.	2'000
5. Étude du risque sismique associé à la mise en place de systèmes EGS, contribution aux travaux dans plusieurs systèmes de profondeurs diverses ; monitoring sismique et interprétation ; étude des processus de circulation des fluides dans les fractures des systèmes EGS étudiés.	1'000
6. Contribution au développement des techniques de fracturation des roches dans des forages de 1 à 3 km de profondeur ; contribution aux travaux dans divers systèmes ; monitoring sismique, diagraphies et interprétation.	3'000
<b>Total Recherche 2010 et 2011</b>	<b>10'000</b>

<b>Budget Recherche &amp; Développement 2012 à 2015 (4 ans)</b>	<b>Montants (milliers CHF)</b>
1. Direction des études, organisation, contributions et review d'experts externes, honoraires des membres du comité de recherche.	env. 2'000
2. Projets de recherche spécifiques d'ampleur limitée dans le domaine de la basse enthalpie.	env. 1'000
3. Recherche de base et appliquée dans le domaine du développement de la géothermie des aquifères profonds (cf. § 3.2.4).	env. 6'000
4. Contribution à la réalisation de travaux de terrain dans le domaine du développement de la géothermie des aquifères profonds, en synergie avec le domaine P&D du programme PROGEOTHERM.	env. 4'000
5. Recherche de base et appliquée dans le domaine du développement des systèmes EGS.	env. 6'000
6. Contribution à la réalisation de travaux de terrain dans le domaine du développement des systèmes EGS, en synergie avec le domaine P&D du programme PROGEOTHERM.	env. 6'000
<b>Total Recherche 2012 à 2015</b>	<b>env. 25'000</b>

**Tableau 8 : Synthèse du budget du domaine Recherche & Développement**

Activités	Montants (milliers CHF)				
	2008 (1/2 an)	2009 (1 an)	2010 – 2011 (2 ans)	2012 – 2015 (4 ans)	Total Formation 2008 – 2015
Gestion et direction des études.	300	500	800	2'000	<b>3'600</b>
Projets de basse enthalpie et faible profondeur.	--	50	200	1'000	<b>1'250</b>
Evaluation des ressources en aquifères profonds et contribution à des projets de doublets géothermiques.	200	600	5'000	10'000	<b>15'800</b>
Synthèse des méthodes et techniques EGS ; contribution aux travaux du projet DHM-Bâle ; développement de techniques de stimulation des réservoirs.	100	1'650	4'000	12'000	<b>17'750</b>
<b>Totaux</b>	<b>600</b>	<b>2'800</b>	<b>10'000</b>	<b>25'000</b>	<b>38'400</b>

### **3.3 Pilote & Démonstration (P&D)**

#### **3.3.1 Introduction**

Au-delà des études globales de faisabilité et des projets de recherche, les quelques exemples en Suisse d'installations financièrement rentables qui exploitent la chaleur des aquifères profonds illustrent l'intérêt économique et stratégique de la géothermie profonde. Les principaux arguments sont une contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'existence d'une énergie renouvelable indigène, une production d'énergie indépendante des saisons et des facteurs climatiques, une faible occupation du sol et des coûts de plus en plus concurrentiels.

Malheureusement ces exemples de réalisations commerciales sont encore trop rares. Il y a en effet un ensemble d'éléments défavorables qui conduisent à l'absence d'initiatives ou au blocage de projets : investissements élevés, risques d'échec encore trop importants dans la phase d'exploration, connaissances lacunaires en profondeur des conditions hydrogéologiques et géothermiques et cibles potentielles encore mal/non identifiées.

Pour convaincre les autorités politiques, les exploitants potentiels et les investisseurs de l'intérêt de ce type d'énergie, il est primordial de promouvoir et développer des projets pilote visant à démontrer la faisabilité et la fiabilité technique ainsi que l'intérêt commercial des centrales géothermiques exploitant la chaleur des eaux souterraines profondes.

Le domaine Pilote & Démonstration (P&D) a été conçu pour atteindre cet objectif.

### **3.3.2 Problématique actuelle et justification du domaine P&D**

Le développement de la géothermie des aquifères profonds est étroitement lié à la réalisation de forages d'exploration pour prouver le potentiel de cette ressource énergétique, qui dépend en particulier du débit de production des puits et de la température d'exploitation de l'eau souterraine. En Suisse, de tels forages n'ont été réalisés qu'à partir de 1987, suite à la mise en place par l'OFEN, pour une période de 10 ans de la couverture du risque géologique. Grâce à cette mesure de promotion, 13 projets de forages profonds (>400 m), ont été réalisés, dont 8 sont actuellement exploités commercialement. En fait, seulement 4 projets ont été considérés comme un succès selon les critères de l'OFEN : le doublet de Riehen et les puits uniques de Lavey-les-Bains, Bad Schinznach et Bassersdorf.

Depuis l'arrêt de la couverture du risque en 1997, plus aucun projet de géothermie des aquifères profonds n'a vu le jour en Suisse. Donc jusqu'à ce jour, le développement de la géothermie des aquifères profonds a été arrêté brusquement, principalement en raison du risque financier élevé lié à l'incertitude géologique en phase d'exploration. Il s'agit presque toujours du risque d'une productivité trop faible du forage.

Pour débloquer cette situation critique et pour permettre la mise en place de projets phares dans le domaine de la géothermie profonde en Suisse, la création d'un domaine P&D au sein du programme PROGEOTHERM est donc une nécessité absolue.

### 3.3.3 Objectifs du domaine P&D

L'objectif principal est de promouvoir le développement de nouveaux projets géothermiques liés aux aquifères profonds. Les projets pilote seront d'abord orientés vers la production de chaleur, mais aussi de plus en plus vers la production d'électricité en exploitation mixte chaleur-force. En dehors de cette filière de la géothermie, les champs de sondes géothermiques de grande envergure pourraient également bénéficier d'un soutien dans le cadre de ce domaine.

Pour atteindre cet objectif, les activités du domaine P&D viseront tout particulièrement à améliorer les conditions cadre pour le lancement de tels projets (Annexe 3). Il s'agira en particulier de :

- Réintroduire un programme adéquat de couverture du risque géologique, élément incontournable permettant de limiter les pertes financières en cas d'échec durant la phase de prospection.
- Augmenter les chances de succès des forages d'exploration au travers d'une approche de reconnaissance systématique (Annexe 4) et par la mise en place de mesures de soutien technique et scientifique (encadrement par des groupes d'experts).
- Améliorer les connaissances hydrogéologiques et géothermiques des aquifères profonds.

Dans un premier temps, le domaine P&D doit :

- Initier des projets pilote en synergie avec les pouvoirs publics (cantons, communes) et le secteur privé.
- Favoriser activement la prospection, par des études régionales pour l'évaluation du potentiel géothermique au niveau cantonal, une collecte et la synthèse des mesures physico-chimiques des fluides, des investigations par géophysique, de nouveaux forages de reconnaissance.
- Encadrer techniquement et scientifiquement la mise en place progressive de centrales géothermiques : accompagnement dans les phases d'exploration et d'exploitation des aquifères profonds.

Les mesures de promotion du domaine P&D devront accompagner tous les stades d'avancement des futurs projets géothermiques. Ainsi les projets pilote successivement mis en place permettront de susciter un intérêt croissant pour cette technologie et devront générer d'autres initiatives similaires. Ces nouveaux projets pourront être réalisés dans des conditions plus favorables (cibles déjà identifiées), à moindre risque (meilleures connaissances géologiques), et seront pris en charge par les initiateurs publics (canton, commune) et privés, avec une contribution de PROGEOTHERM diminuant progressivement au fur et à mesure des projets.

### 3.3.4 Filières géothermiques considérées par le domaine P&D

En principe l'ensemble des filières de la géothermie à basse, moyenne et haute température aboutissant à des productivités significatives devrait être pris en compte. Il est pourtant prévu, au stade actuel, de ne pas considérer les filières suivantes :

- *Sondes géothermiques individuelles et captages simples dans les nappes phréatiques. En effet, de nombreuses réalisations existent déjà et la démonstration de ces techniques n'est donc plus à établir.*
- *Production d'électricité avec des forages très profonds (> 4'000 m) en milieux peu perméables (projets EGS nécessitant une fracturation artificielle du massif rocheux). Les problèmes rencontrés par le projet Deep Heat Mining à Bâle démontre que ce type d'exploitation demande encore une phase de développement importante avant de passer à un projet pilote.*

Les deux filières principales considérées par le domaine P&D concernent des projets de valorisation de la chaleur souterraine avec pompes à chaleur (PAC) ou en utilisation directe, ainsi que la cogénération d'électricité et de chaleur dans certains cas favorables :

- **Forages en aquifères profonds** : exploitation de l'énergie des eaux souterraines profondes (chaleur et éventuellement électricité).
- **Champs de sondes géothermiques** : exploitation indirecte de la chaleur par circulation de fluides caloporteurs dans des échangeurs de chaleurs verticaux.

La figure 2 ci-dessous illustre les types de projets géothermiques qui seront pris en considération.

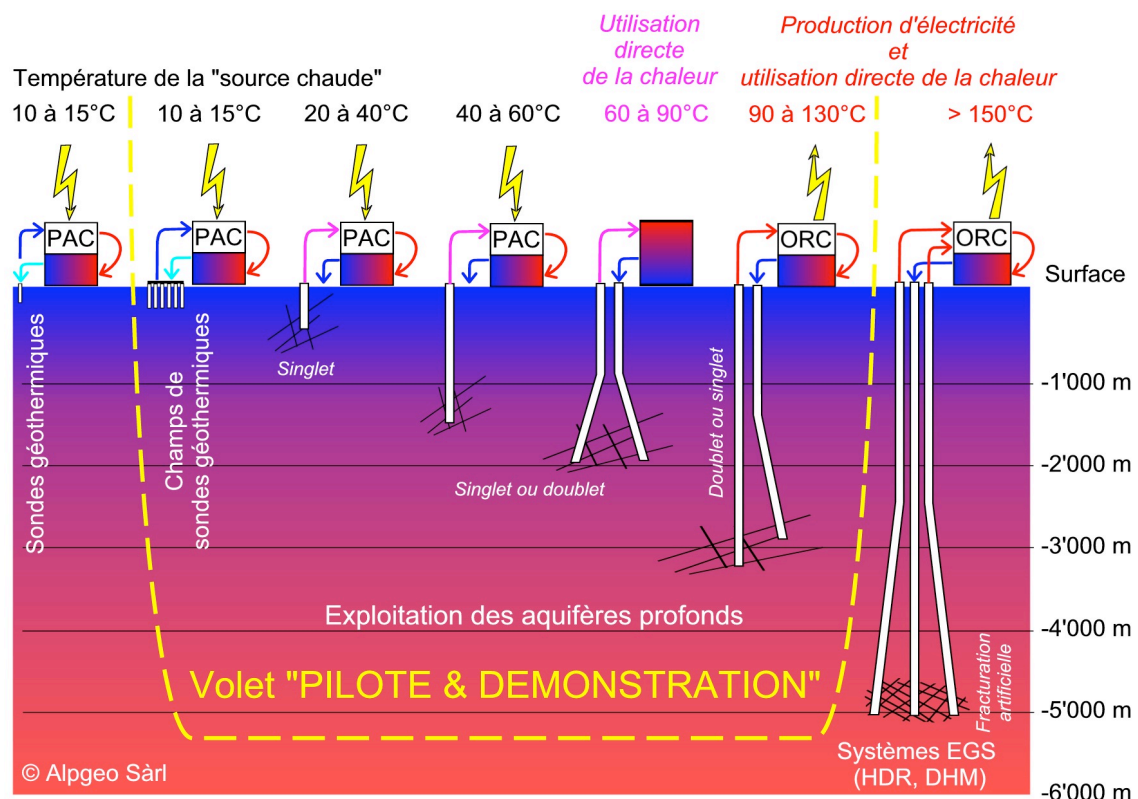


Figure 2 : Types de projets géothermiques considérés dans le domaine P&D

De manière plus détaillée, les types de projets suivants bénéficieront d'un soutien dans le cadre des actions du domaine P&D :

***Valorisation de la chaleur avec pompe à chaleur (PAC)***

- Champs de sondes géothermiques, pour autant que la puissance fournie par la géothermie (PG) dépasse  $100 \text{ kW}_{\text{th}}$  ou une longueur totale de 2'000 m de sondes.
- Puits (singlet ou doublet) dans des aquifères de moyenne profondeur (400 - 1'500 m), si  $\text{PG} > 1 \text{ MW}_{\text{th}}$ .

***Valorisation directe de la chaleur des eaux souterraines profondes***

- Puits (singlet ou doublet) dans des aquifères profonds (1'500 - 3'000 m), pour autant que  $\text{PG} > 3.0 \text{ MW}_{\text{th}}$ .

***Production d'électricité et valorisation directe de la chaleur des eaux souterraines profondes***

- Puits (singlet ou doublet) dans les aquifères de grande profondeur (3'000 - 4'000 m), pour autant que la puissance électrique escomptée soit d'au moins  $1 \text{ MW}_e$  et que la chaleur résiduelle soit valorisée pour du chauffage.



### 3.3.5 Tâches prévues dans le domaine P&D

Pour atteindre les objectifs mentionnés au point 4.3.3, il s'agira :

- De formuler des objectifs précis et quantifiables et d'élaborer un cahier des charges détaillé des tâches et mesures à réaliser par le domaine P&D.
- De mettre en place une structure adéquate pour la gestion du domaine P&D.
- D'appliquer, selon le calendrier prévu et dans le cadre financier alloué les mesures prévues dans le cahier des charges.

Concrètement les mesures de promotion et d'accompagnement technique et scientifique des projets (cf. point 3.3.6) comprendront en particulier les tâches suivantes (Annexe 3) :

- Analyser de manière systématique les différents freins qui entravent le lancement de projets géothermiques profonds.
- Collaboration avec la SSG/SVG pour la mise en place d'un concept efficace de couverture du risque géologique. Le but étant de définir des conditions cadre pour son application et d'aboutir à la constitution d'un fonds de garantie.
- Encourager et participer au lancement d'études régionales pour l'évaluation du potentiel géothermique au niveau cantonal.
- Dans les cantons où ces études sont déjà disponibles, rechercher et identifier de manière précise des secteurs favorables et des cibles prioritaires pour l'exploitation et la valorisation de la géothermie.
- Stimuler le démarrage de nouveaux projets géothermiques par des contacts avec des initiateurs et des investisseurs, apporter un soutien financier et un savoir-faire au montage de ces projets.
- Participer au suivi technique et scientifique (encadrement et assurance qualité) à tous les échelons de réalisation des projets géothermiques.

La priorité des actions du domaine P&D doit être placée sur la promotion, le soutien et le suivi de projets géothermiques avec une valorisation directe de la chaleur ou une production mixte d'électricité & chaleur, car ils nécessitent des investissements et une prise de risques plus importants. Ces projets ont l'avantage de limiter au minimum l'apport d'énergie électrique, voire même, d'en produire lorsque la température de l'eau profonde est suffisamment élevée (> 90°C avec des centrales à fluide binaire de type Organic Rankine Cycle).

De manière générale, et en synergie avec la SSG/SVG et les autres domaines du projet, les membres du domaine P&D participeront également à d'autres activités telles que:

- Elaboration de manuels, de procédures de bonne pratique et de directives.
- Participation à des activités de formation : exemples d'applications, méthodes de réalisation, problèmes opérationnels, stages, diplômes, etc.
- Contribution à la recherche : tests complémentaires, acquisition de mesures pour augmenter le niveau de connaissance des aquifères géothermiques profonds, optimisation de procédures de stimulation, etc.
- Diffusion des résultats des études et des projets géothermiques non seulement auprès des milieux concernés, mais aussi au niveau politique et auprès du grand public, par le biais de publications, d'informations vulgarisées diffusées par les médias et de programmes de visites des installations.

### 3.3.6 Structure et fonctionnement du domaine P&D

La participation à la recherche de cibles géothermiques et d'utilisateurs potentiels ainsi que l'initiation des études et le suivi des différentes étapes de réalisation des projets géothermiques, nécessite la mise en place d'une structure simple et de taille modulable en fonction des besoins. Celle-ci est placée sous la direction du comité exécutif du programme PROGEOTHERM, qui gère les aspects administratifs et financiers en étroite collaboration avec l'OFEN.

Les projets de géothermie profonde demandent un savoir-faire spécifique, d'où l'importance d'un appui technique et scientifique efficace et professionnel. Par conséquent, la structure recommandée pour le domaine P&D se compose des deux entités suivantes :

- **Unité de gestion P&D**, représenté principalement par deux chefs de projets.
- **Groupe d'experts P&D** (au maximum 10 à 12 personnes), reconnus pour leur expérience pratique dans les différents domaines de la géothermie, de l'hydrogéologie, des techniques de forage, de l'environnement et de l'énergie.

#### ***Unité de gestion P&D***

Les deux chefs de projet, responsables du budget de fonctionnement du domaine P&D, doivent mettre en œuvre et animer les tâches définies au point 4.3.5. Ils rendent compte de ces activités au chef du programme PROGEOTHERM. Contrairement au groupe d'experts P&D, l'unité de gestion fonctionne de manière continue, les chefs de projet se répartissant les activités en fonction de critères géographiques (Suisse occidentale et Tessin / Nord du plateau et Suisse orientale), afin de garantir la proximité avec les initiateurs de projets publics et privés, ainsi que le suivi efficace des différentes étapes d'exploration et de réalisation.

Chaque chef de projet joue le rôle de pivot entre les différents intervenants, tels que les autorités politiques, les promoteurs de projets, les entreprises et bureaux mandatés par l'instigateur du projet, les experts, la direction de PROGEOTHERM. Il initie des projets géothermiques, en favorise le lancement, évalue les besoins et les difficultés afin de proposer des solutions permettant d'aboutir à la réalisation des projets. Il sollicite les membres du groupe d'experts selon les besoins et supervise les études spécifiques. Le chef de projet est aussi responsable de la diffusion des informations relatives aux différents projets réalisés dans le cadre du domaine P&D. Le cahier des charges détaillé de l'unité de gestion P&D sera précisé au début de l'entrée en vigueur du programme PROGEOTHERM. Pour le bon fonctionnement de cette unité, il est primordial de déterminer des objectifs concrets et mesurables, afin d'en évaluer régulièrement l'efficacité.

#### ***Groupe d'experts P&D***

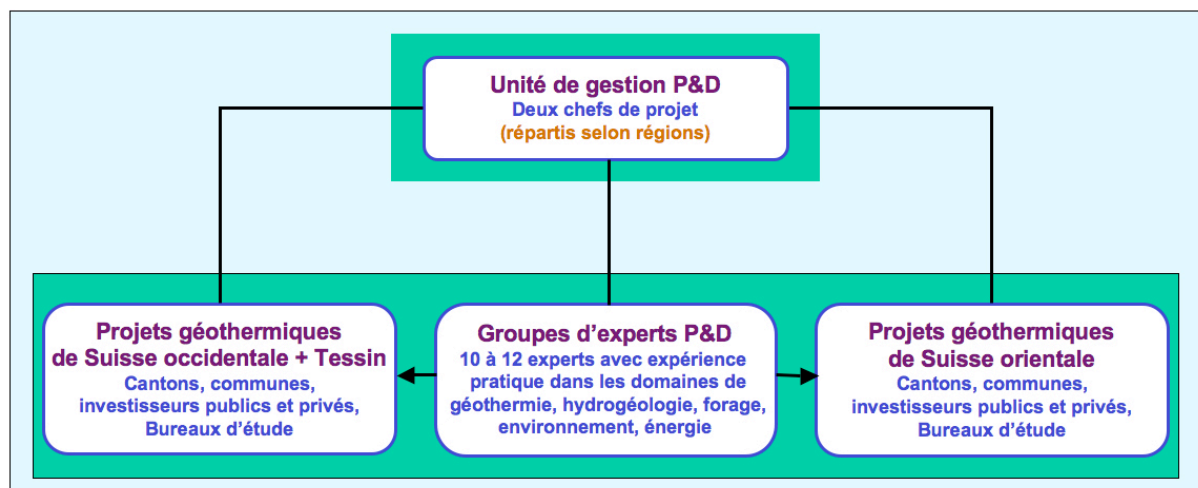
Les spécialistes de ce groupe, provenant en grande partie de praticiens issus de bureaux privés, sont choisis sur la base de leur expérience dans des projets géothermiques ou dans des domaines connexes.

Ces experts interviennent à la demande d'un chef de projet pour réaliser des tâches ponctuelles dans l'accompagnement technique et scientifique des divers projets géothermiques. Ils travaillent sous la supervision du chef de projet et sont mobilisables en fonction de besoins spécifiques, de leur domaine de compétence, de leur expérience et des phases de développement des projets. Ci-après sont indiquées certaines tâches qui incombent à ces experts, dont le cahier des charges sera précisé au début de la mise en place du domaine P&D :

- Évaluation préliminaire d'aspects techniques ou scientifiques spécifiques (par exemple besoins en énergie, géologie locale, techniques de forage), dans les phases initiales des projets.
- Analyse des requêtes pour l'attribution de la couverture de risque (sous la supervision du chef de projet P&D), évaluation des chances de succès et des risques financiers.
- Encadrement des projets géothermiques à tous les niveaux de prospection et de réalisation, conseils en cas de difficultés, pour optimiser la réalisation du projet en minimisant les risques d'échec.
- Participation à des séances de coordination au sein du domaine P&D, ainsi qu'à des séminaires internes pour discuter et transmettre les expériences acquises.

Par souci d'efficacité et de continuité, il paraît important de limiter à 10-12 le nombre de ces experts praticiens. Le mode de fonctionnement de cette équipe devra prévoir des échanges réguliers, par exemple sous forme de séminaires, afin d'optimiser son efficacité (définition des objectifs et d'une stratégie de mise en œuvre, retours d'expérience, définition de procédures communes, etc.). Afin de s'assurer de la collaboration de personnes compétentes, la rémunération de l'ensemble des personnes impliquées dans ce domaine doit être à la hauteur de leur qualité d'expert. Les mandats d'étude seront attribués ponctuellement, sur la base d'un devis préalable indiquant précisément les tâches à accomplir et les ressources nécessaires pour atteindre les objectifs spécifiques.

La figure 3 ci-dessous illustre de manière synthétique la structure prévue dans le cadre du domaine P&D.



**Figure 3 : Organigramme de la structure du domaine P&D de PROGEOTHERM**

### **Mode de fonctionnement du domaine P&D**

Le mode de fonctionnement du domaine P&D est étroitement lié au déroulement des projets géothermiques. Une procédure idéale par étapes successives, depuis l'identification et la sélection d'un projet potentiel jusqu'à la mise en service de la centrale géothermique, a été définie dans le tableau 9.

**Tableau 9 : Fonctionnement du domaine P&D**

Etapas du projet et activités		Financement PROGEOTHERM			
		Unité de gestion P&D	Experts P&D	Investigat. complém.	Bureaux d'étude
<b>1</b>	Identification et sélection de projets potentiels	√	–	–	√
<b>2</b>	Etude conceptuelle, initiation et démarrage d'un projet géothermique	√	√	–	√
<b>3</b>	Etude préliminaire	√	√	–	<b>1</b>
<b>4</b>	Etude de faisabilité, montage financier, éventuellement investigations complémentaires	√	√	√	<b>1</b>
<b>5</b>	Requête pour la couverture du risque géologique	√	√	–	<b>1</b>
<b>6</b>	Forages d'exploration et tests de productivité ; évent. approfondissement ou stimulation	√	√	(√)	<b>1</b>
<b>7</b>	Equipped du puits, essais de pompage et mise en production ; caractérisation du réservoir	√	√	(√)	<b>1</b>
<b>8</b>	Si nécessaire, réalisation d'un doublet et tests de circulation ; évent. stimulation	√	√	(√)	<b>1</b>
<b>9</b>	Suivi du/des puits en phase d'exploitation, évaluation du réservoir	√	√	(√)	(√)

√ : activité entièrement financée par PROGEOTHERM

(√) : activité partiellement prise en charge par PROGEOTHERM

**1** : activité financée par des initiateurs public/privé (sans contribution de PROGEOTHERM)

– : pas d'activité à l'étape considérée

L'Annexe 3 définit plus en détail les tâches associées aux étapes décrites ci-dessus.

### 3.3.7 Programme et budget prévisionnels pour la période 2008-2015

#### ***Programme indicatif***

Le **programme de la 1<sup>ère</sup> année** de fonctionnement du domaine P&D en 2008, en fait une demi année car le démarrage réel de PROGEOTHERM est prévu en juillet, sera consacré en priorité aux aspects suivants :

- Montage de la structure de fonctionnement propre au domaine P&D (cahier des charges, liste des experts, programme, etc.).
- Finalisation et mise en route d'un nouveau programme de couverture du risque géologique. L'établissement d'un concept et l'élaboration d'un cahier de propositions font actuellement l'objet d'une réflexion par un groupe d'étude au sein de la SSG.
- Promotion pour le démarrage d'études cantonales concernant l'évaluation régionale du potentiel géothermique.
- Initiation de deux à trois nouveaux projets géothermiques (étapes 1 et 2 définies dans le tableau 9). Actuellement, quelques projets concrets sont en phase d'attente et ne demandent qu'à être soutenus par le domaine P&D.
- Recensement et soutien de projets qui ont déjà démarré avant la mise en place de ce domaine P&D.

Le **programme des 3 années suivantes** (2009 - 2011) prévoit le démarrage d'au moins trois projets par année, ainsi que la supervision et l'encadrement des projets qui sont déjà en phase de réalisation. L'année 2011 demandera un effort particulier de la part de l'unité de gestion, afin d'évaluer les résultats obtenus pour dresser un bilan intermédiaire des activités du domaine P&D.

Le **programme des 4 dernières années** (2012 - 2015) verra progressivement diminuer l'effort d'initiation de nouveaux projets pour se concentrer davantage sur l'appui technique et scientifique aux différentes étapes des projets géothermiques, ainsi qu'au suivi du fonctionnement des centrales géothermiques en phase de production. Synthèse, bilan et conclusions de la deuxième période d'activités.

#### ***Budget prévisionnel***

Le détail du budget prévisionnel pour la période 2008 – 2015 est présenté dans l'Annexe 5. Les postes budgétaires prévus pour le domaine P&D comprennent les prestations et frais suivants :

- Honoraires de l'unité de gestion
  - Deux chefs de projet (à temps partiel, en fonction des étapes du projet).
  - Support ponctuel par des collaborateurs scientifiques et appui administratif par un secrétariat.
- Honoraires du groupe d'experts (support ponctuel selon les besoins des projets)
- Honoraires de bureaux d'études

Il s'agit uniquement de prestations dans les deux étapes initiales (tableau 9) de projets publics et/ou privés, sélectionnés par les chefs de projet P&D et approuvés par le Directeur du programme PROGEOTHERM.
- Investigations complémentaires

Tests et mesures d'intérêt général pour la compréhension des réservoirs géothermiques profonds mais dépassant les objectifs spécifiques des initiateurs des projets communau-

taires/privés, et donc à financer de manière indépendante. Ces investigations complémentaires visent d'une part à augmenter le niveau de connaissances et la base de données nationales sur les réservoirs profonds, et d'autre part à vérifier et valider à profondeur restreinte, donc à moindres coûts, des méthodes de reconnaissance et de stimulation prévues à plus grande profondeur (activités conjointes avec le domaine Recherche & Développement). Il s'agit donc du financement partiel ou complet d'activités mentionnées dans la liste suivante (non exhaustive) :

- Ré-analyse de profils sismiques antérieurs et éventuellement acquisition de nouvelles lignes sismiques.
- Approfondissement de forages, par exemple pour reconnaître un aquifère plus profond que celui visé par les initiateurs publics/privés.
- Extension du programme de tests : évaluation plus détaillée ou à une plus large échelle des propriétés physico-chimiques du réservoir (diagraphies géophysiques ou géochimiques, prélèvements et analyses chimiques/isotopiques), estimation des limites hydrogéologiques (tests hydrauliques), détermination des propriétés géomécaniques et de l'état des contraintes d'un massif (tests de fracturation, etc.).
- Extension du programme de mesures : instrumentation et suivi continu de l'évolution de paramètres physico-chimiques (complétions multi-obturateurs, capteurs de mesures, etc.).
- Stimulation supplémentaire du réservoir par méthodes chimiques et mécaniques : optimisation des procédures de stimulation et vérification/validation des résultats.
- Analyses, interprétations et synthèses : valorisation des tests et mesures effectués afin de d'augmenter le niveau de connaissance global des aquifères profonds.
- Frais de gestion et de déplacement liés aux activités de l'unité de gestion, du groupe d'experts et des bureaux d'études (prestations mandatées par le domaine P&D).

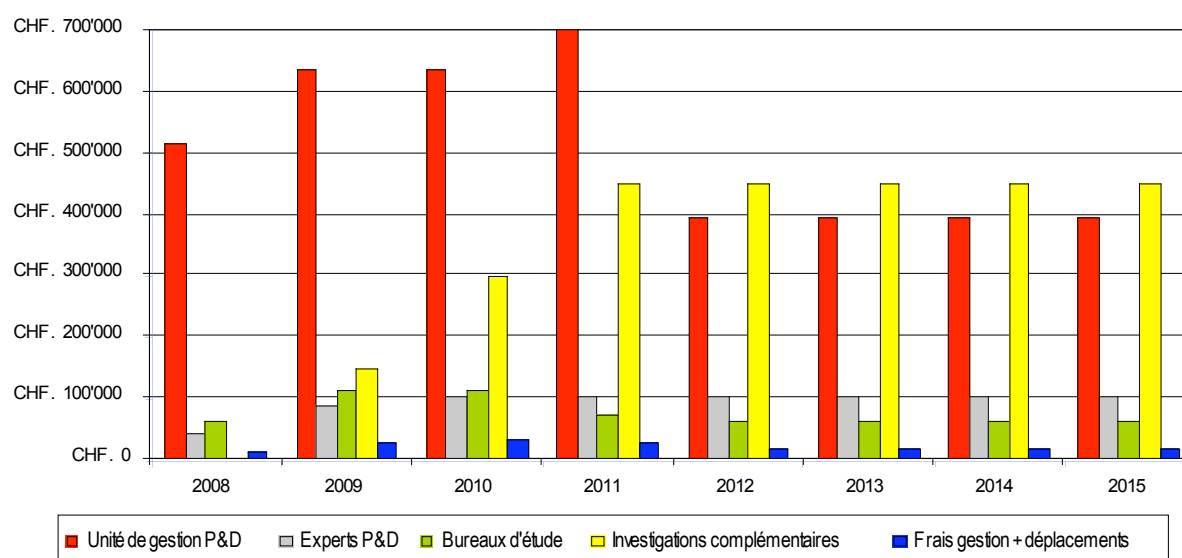
Ni le budget du domaine P&D, ni celui du programme global PROGEOTHERM ne permettent le financement intégral des forages profonds. Par contre, les budgets à disposition permettront de co-financer quelques projets particulièrement intéressants (production mixte chaleur/force) pour le développement de la géothermie en aquifères profonds.

Les montants annuels consacrés au domaine P&D sont résumés de manière synthétique dans le tableau 10.

**Tableau 10 : Synthèse du budget du domaine P&D**

Activités	Montants (milliers CHF)				
	2008 (1/2 an)	2009 (1 an)	2010 – 2011 (2 ans)	2012 – 2015 (4 ans)	Total P&D 2008 – 2015
Montage et gestion des projets	517	635	1'335	1'580	<b>4'067</b>
Honoraires des groupes d'experts	46	91	213	425	<b>775</b>
Bureaux d'études	64	114	191	254	<b>623</b>
Investigations complémentaires	--	150	750	1'800	<b>2'700</b>
Frais divers	13	30	61	81	<b>185</b>
<b>Totaux</b>	<b>640</b>	<b>1'020</b>	<b>2'550</b>	<b>4'140</b>	<b>8'350</b>

L'ordre de grandeur du budget annuel moyen consacré au domaine P&D durant la période 2008-2015 sera de l'ordre de 1.1 Mio CHF pour un montant total de l'ordre de 8.3 Mio CHF (Annexe 5). L'évolution annuelle des dépenses engagées pour chaque "catégorie" est illustrée par la figure 4. On remarque que lors des trois premières années le budget consacré aux activités de l'unité de gestion P&D est prépondérant en raison des activités de promotion, d'initiation et d'accompagnement. Par contre, dès 2012 une grande partie du budget sera alloué aux investigations complémentaires, à leur interprétation et à la synthèse des résultats des différents projets.

**Figure 4 : Evolution et répartition des dépenses du domaine P&D au cours des années 2008 à 2015**

Le groupe d'expert devrait être sollicité dès la deuxième année. Ses activités resteront approximativement constantes jusqu'à la fin du projet. Au fur et à mesure de l'avancement des projets géothermiques, le financement des bureaux d'étude sera progressivement pris en charge par les initiateurs publics/privés des projets.

## **3.4 Politique, Finance et Information**

### **3.4.1 Politique**

Ces dernières années, l'énergie en général et la géothermie en particulier n'ont pas été au centre des préoccupations des politiciens. Toutefois, depuis 2006, les questions relatives à l'énergie ont de nouveau gagné en attention.

Sur le plan international, la montée des prix du pétrole, les nombreux rapports critiques sur le réchauffement de la planète, les discussions liées au protocole de Kyoto, la récente réunion dans le cadre de l'ONU pour débattre des problèmes climatiques et l'attribution du Prix Nobel de la Paix à Al Gore pour son film : « La vérité qui dérange » sont des signes très tangibles de ce regain d'intérêt.

Sur le plan national, les élections fédérales en octobre 2007 et les Perspectives énergétiques pour 2035, élaborées par l'OFEN, combinées à d'autres prévisions énergétiques, ont été à l'origine d'une nouvelle sensibilisation au thème de l'énergie. Le Conseil fédéral a fixé dans un document publié en février 2007 quatre axes importants pour la future politique énergétique : les deux premiers, soit l'efficacité énergétique et le développement des sources d'énergie renouvelables sont une priorité absolue.

La loi sur l'approvisionnement électrique, couplée à l'encouragement du recours aux sources d'énergie renouvelables, prévoit dès 2008 un prélèvement maximum de 0,6 ct/Kwh sur le prix de l'électricité pour alimenter un fonds destiné à compenser la différence de prix entre le marché et le prix de revient de ces nouvelles sources de production.

La Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) a publié son Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération pour les années 2008 à 2011. Ce document a été discuté par quelque 140 spécialistes lors de la 8<sup>ème</sup> Conférence sur la recherche énergétique qui s'est tenue les 27 et 28 mars 2007 à Neuchâtel. Les représentants de la géothermie à cette conférence ont souligné que les sommes prévues dans le Plan directeur pour la recherche en faveur de la géothermie restaient très modestes.



### 3.4.2 Finance

Les dépenses publiques en faveur de la recherche énergétique ont diminué dans tous les domaines par rapport à la situation qui prévalait dans les années 1990. La part dévolue à la géothermie a toujours été très modeste : elle n'est que d'un pour-cent en moyenne. La taxe de 0,6 ct/kWh d'électricité consommée, qui devrait être introduite dès le 1<sup>er</sup> janvier 2008, va générer une somme d'environ 300 millions de francs. Elle sera presque exclusivement destinée à la rétribution à prix coûtant d'électricité produite à partir de sources renouvelables. La géothermie, contrairement à d'autres sources renouvelables comme le solaire, l'éolien, la biomasse ou l'hydraulique de faible puissance, ne bénéficiera que très modestement de cette aide importante, car elle ne produira que très peu d'électricité dans les prochaines années.

Par contre, un fonds sera créé qui servira de caution pour couvrir les risques géologiques liés aux forages. Les difficultés rencontrées dans le projet à grande profondeur à Bâle montrent que ce mode de production d'électricité nécessite encore des efforts importants et soutenus au niveau de la recherche.

Le conseiller national lucernois Georges Theiler a déposé une motion pour financer un programme de recherche de la géothermie profonde. La version acceptée par le Conseil des Etats le 21 juin 2007 ouvre des perspectives intéressantes. Elle donne mandat au Conseil fédéral de proposer un crédit cadre de l'ordre de 40 à 60 millions répartis sur 4 ans pour la recherche dans le domaine de la géothermie profonde. Ce crédit permettra de développer un programme de recherche & développement crédible et de rattraper le retard pris en Suisse dans ce domaine. Dans sa session de septembre, le Conseil national a accepté très largement la motion Theiler dans la nouvelle version du Conseil des Etats. Cette décision très réjouissante donne mandat au Département fédéral de l'énergie de tenir compte de ce fait dans l'établissement du budget des années 2008 et suivantes.

### 3.4.3 Information

L'information est une composante très importante dans tout développement technologique. Elle doit viser trois types de publics :

- Les politiciens responsables du cadre législatif et de l'octroi des crédits.
- Les compagnies énergétiques intéressées par la production de chaleur et d'électricité.
- Les consommateurs de ce type d'énergie.

Les politiciens sont souvent submergés d'informations parfois contradictoires. C'est la responsabilité de la Société suisse de géothermie (SSG/SVG), en tant qu'organisation faîtière, de préparer et de diffuser les éléments d'information adéquats et fiables à ceux qui sont responsables de trouver un cadre favorable pour la géothermie.

Pendant ses 3 ans d'existence, le Comité du CREGE n'a pas ménagé ses efforts pour convaincre les producteurs d'énergie de soutenir financièrement la recherche et la formation permettant d'amener à maturité cette énergie porteuse d'avenir.

Dans le cadre du programme *Suisseénergie*, la SSG/SVG a participé activement à l'information du public pour le familiariser avec cette énergie encore mal connue. Elle a également organisé de nombreux séminaires d'information et des cours spécialisés à l'intention des corps de métiers responsables de l'implantation de cette technologie.

La géothermie est une technologie multidisciplinaire assez complexe et les efforts d'information doivent être intensifiés, si l'on veut qu'à terme, elle apporte une contribution importante au cocktail des énergies renouvelables.

Dans le cadre de PROGEOTHERM, un programme détaillé d'information sera élaboré en collaboration avec la SSG/SVG, pour que ces deux programmes respectifs ne comportent pas de doublons mais au contraire se renforcent l'un et l'autre.

#### ***Destinataires du programme d'information***

##### **A. Politiciens**

*Présentation de PROGEOTHERM et FEGES*

- *Commissions de l'énergie des grands partis politiques*
- *Commissions de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil national et du Conseil des Etats (CEATE/UREK)*
- *Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)*
- *Forum suisse de l'énergie*
- *Fondation suisse de l'énergie (FSE/SES).*

##### **B. Milieux académiques**

*Présentation de PROGEOTHERM et FEGES*

- *Commission de l'énergie de l'Académie suisse des sciences techniques (SATW)*
- *Conseil de l'Energie de l'EPF-L et de l'ETH-Z.*

##### **C. Sociétés énergétiques**

*Présentation de PROGEOTHERM et FEGES*

- *Groupe swisselectric research*
- *Comité de l'Association des Entreprises électriques suisses (AES/VSE)*
- *Fonds de recherche des Entreprises gazières (FOGA)*

- *Comité spécialisé de l'Union pétrolière (UP/EV)*
- *Agence pour les Energies renouvelables et de l'efficacité énergétique (AEE)*

#### D. Ecoles

##### *Présentation de PROGEOTHERM et FEGES*

- *Universités*
- *Ecoles polytechniques fédérales*
- *Hautes écoles spécialisées*

#### E. Grand public

##### *Présentation de PROGEOTHERM et FEGES*

- *Chaînes de radio*
- *Chaînes de télévision*
- *Presse écrite*
- *Internet*
- *Autres media*

Les parties Ecoles et Grand public seront coordonnées avec la SSG/SVG.

### 3.4.4 Budget du domaine Politique, Finance et Information

Les moyens à mettre à disposition du domaine ne représentent que petite fraction du budget global du programme, par contre ils sont importants pour que l'équipe puisse communiquer avec les partenaires, annoncer et susciter les projets, révéler les résultats et faire la promotion du programme à différents niveaux de complexité (tableau 11).

Pour la partie Politique et Finance, l'essentiel du budget sera lié aux séances et aux déplacement de l'équipe.

Les principaux outils de communication et d'information à mettre en place seront les suivants :

- Conférence de presse initiale, puis annuelle ou biannuelle.
- Présentation du programme, lobbying pour les différents milieux, conférences.
- Création et entretien d'un site Internet contenant des pages généralistes et une section interactive pour les partenaires du projet.
- Edition de matériel d'information différencié à l'attention du monde politique, technique et scientifique.
- Rédaction d'une Newsletter.
- Organisation de séminaires et d'un colloque annuel de présentation des résultats.
- Rédaction, impression et distribution de rapport (rapport de phase, rapport de fin de projet, rapports annuels).

**Tableau 11 : Synthèse du budget du domaine Politique, Finance et Information**

Activités	Montants (milliers CHF)				
	2008	2009	2010 – 2011	2012 – 2015	Total P&D
Durée	(1/2 an)	(1 an)	(2 ans)	(4 ans)	2008 – 2015
Conférences de presse	20	20	40	70	<b>150</b>
Présentation, lobbying, conférence	20	30	50	110	<b>210</b>
Site Internet	20	30	40	60	<b>150</b>
Matériel d'information	10	40	80	150	<b>280</b>
Newsletters	10	20	30	50	<b>110</b>
Séminaires, colloque annuel	10	50	100	240	<b>400</b>
Rapports annuels par domaine	10	10	20	40	<b>80</b>
Rapports de fin de phase	--	--	40	80	<b>120</b>
<b>Totaux</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>800</b>	<b>1'500</b>

## 4. Organisation du programme PROGEOTHERM

Pour que le programme PROGEOTHERM puisse démarrer dès le deuxième semestre de 2008 et atteindre rapidement un rythme de croisière et une efficacité optimale, un système de fonctionnement doit être planifié et une organisation soignée doit être mise en place.

Une Direction de projet solide devra être formée, constituée par exemple d'un directeur, d'un adjoint, d'un administrateur et d'un secrétariat, pour conduire le programme et assurer la coordination entre les différents organes et l'Office fédéral de l'énergie. Un conseil scientifique formé d'experts indépendants donnera son avis sur les options générales choisies et les priorités thématiques. Le domaine Politique, finance et information sera intégré à la Direction de projet.

Ensuite, trois sous-comités correspondant aux trois domaines principaux que sont le domaine Formation, le domaine Recherche & Développement et le domaine Pilote & Démonstration seront également des organes permanents de la structure de PROGEOTHERM avec des buts et des tâches précises :

- **Formation** : Mise en place et réalisation d'un MAS en géothermie ; soutien à la formation continue dans les HES.
- **Recherche & Développement** : Lancement d'appels d'offres pour des thèmes de recherche, évaluation et suivi de projets, contacts avec les institutions de recherche, les bureaux d'ingénieurs et les entreprises.
- **Pilote & Démonstration** : Incitation et soutien à la réalisation de projets pouvant devenir des installations P&D, contacts avec les bureaux d'ingénieurs, les entreprises et les institutions de recherche.

Un dernier organe de la structure PROGEOTHERM est un groupe d'experts reconnus selon leur spécialité, qui seront engagés pour évaluer les soumissions de projets de recherche et ensuite pour estimer les résultats de ces mêmes projets, ainsi que la cohérence globale du programme de recherche.

Les relations entre chaque domaine du programme PROGEOTHERM doivent être clairement définies pour tous les objectifs et actions, ainsi que les interactions entre la Direction de PROGEOTHERM et les trois domaines principaux, notamment pour éviter des doublons. La figure 5 présente l'organigramme de fonctionnement du programme PROGEOTHERM.

Dès que le(s) mandat(s) de réalisation du programme PROGEOTHERM sera(ont) attribué, un groupe de travail devra former et nommer rapidement la Direction du projet, en considérant les capacités des candidats potentiels pris sur l'ensemble de la communauté géothermique suisse, voire même à l'extérieur de celle-ci en cas de besoin. Lorsque la Direction du projet sera établie, avec le soutien de son conseil scientifique, elle préparera les trois sous-comités permanents, formé chacun d'au moins deux personnes. A la suite de quoi, l'ensemble des activités pourront démarrer simultanément.

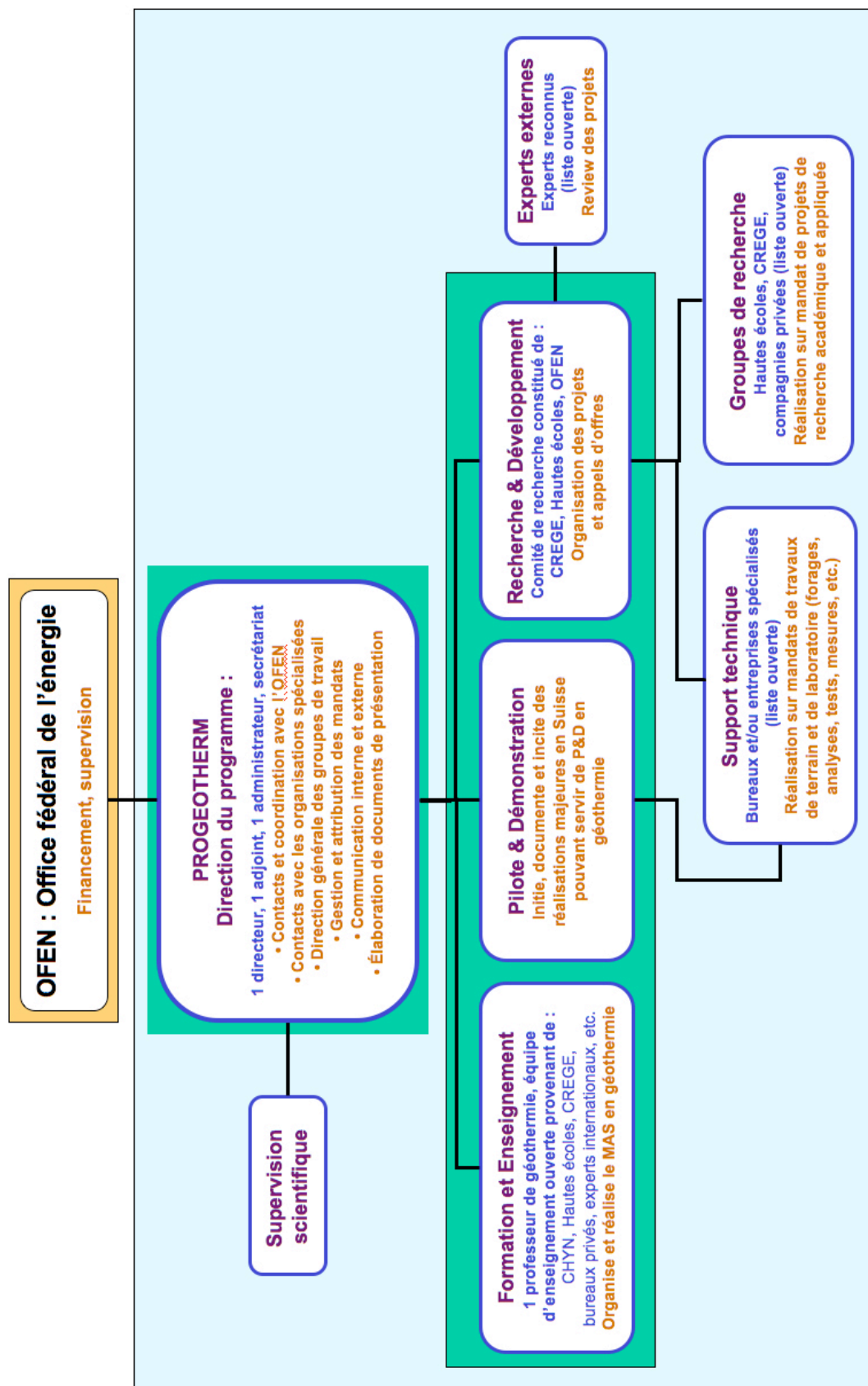


Figure 5 : Organigramme de fonctionnement du programme PROGEOTHERM

## 5. Budget général

Les coûts présentés dans les différents domaines d'activités, permettront d'atteindre raisonnablement les objectifs attendus. Dans le tableau 12, les moyens à mettre à disposition évoluent en fonction de l'avancement du programme. Le détail de ces évolutions est expliqué dans les budgets respectifs des différents domaines. Les montants indiqués représentent une estimation des budgets annuels ou pluri-annuels : ceux-ci pourront être affinés et détaillés au cours de la première période de six mois du programme.

**Tableau 12 : Synthèse du budget global du programme PROGEOTHERM**

Domaines	Montants (milliers CHF)				
	Phase 1			Phase 2	Total
	2008 1/2 an	2009 1 an	2010 - 2011 2 ans	2012 - 2015 4 ans	2008 - 2015
<b>Direction du programme (organisation et suivi)</b>	300	500	1'500	3'000	<b>5'300</b>
<b>Formation dans les hautes écoles</b>	150	420	800	1'600	<b>2'970</b>
<b>Recherche &amp; Développement</b>	600	2'800	10'000	25'000	<b>38'400</b>
<b>Pilote &amp; Démonstration</b>	640	1'020	2'550	4'140	<b>8'350</b>
<b>Politique, Finance et Information</b>	100	200	400	800	<b>1'500</b>
<b>Totaux</b>	<b>1'790</b>	<b>4'940</b>	<b>15'250</b>	<b>34'540</b>	<b>56'520</b>

Pour atteindre les buts fixés, il faudra prévoir une durée de vie du programme PROGEOTHERM d'au moins 2 périodes de 4 ans, ce qui représenterait un montant global d'environ 22 millions de francs pour la première période de quatre ans. La deuxième période de quatre ans nécessitera des montants sensiblement supérieurs, surtout pour ce qui concerne la recherche, avec un total de 35 millions de francs.

Les montants indiqués pour l'organisation et le suivi du programme représentent en moyenne 10 % du budget total, ce qui est habituel pour des projets de cette envergure. Seulement pour la première année de démarrage un montant proportionnellement plus élevé est recommandé.

Les montants donnés pour la formation ne varient pratiquement pas d'une année à l'autre. Pour l'essentiel, il s'agit du soutien pour un fonctionnement régulier du Master of Advanced Studies en géothermie.

Les montants indiqués pour le domaine Recherche & Développement n'incluent pas la création et le fonctionnement d'une institution de type coopérative pour le développement à long terme de la technologie EGS, ainsi qu'elle est proposée dans le programme FEGES. En effet, les montants qui seront nécessaires pendant une période de l'ordre de 20-25 ans seront très supérieurs à ceux prévus dans le cadre du domaine Recherche & Développement de PROGEOTHERM.

Les montants indiqués pour le domaine Pilote & Démonstration n'incluent pas les investissements pour la réalisation proprement dite des installations pilote, mais prévoient des moyens substantiels pour initier et accompagner des projets. L'essentiel du budget de soutien aux opérations P&D reste dans le budget Recherche & Développement et ces deux domaines devront fonctionner de manière très coordonnée pendant les deux phases du programme.

Finalement, les montants réguliers montrés pour le domaine de l'information ne représentent que 2-3 % du budget et sont là pour assurer la promotion du programme, ainsi que la communication et la diffusion des résultats.

Bien qu'une certaine souplesse et des variations annuelles du budget et du programme sont envisageables, les montants indiqués ne pourront pas être fortement diminués sans devoir reconsidérer complètement les objectifs du programme PROGEOTHERM, à savoir la création d'une filière technologique de la géothermie en Suisse.

Les sources de financement potentielles pouvant venir du secteur privé seront également proposées et recherchées lors de la phase initiale des premières années, pour que les activités planifiées soient également soutenues par l'industrie.



## **7. ANNEXES**

**Annexe 1 :**

**Projet de Master of Advanced Studies (MAS) en géothermie**

**Annexe 2 :**

**Systèmes géothermiques et état de leur développement technologique**

**Annexe 3 :**

**Tâches prévues dans le domaine Pilote & Démonstration (P&D)**

**Annexe 4 :**

**Etapas d'un projet géothermique en aquifère profond**

**Annexe 5 :**

**Budget prévisionnel du domaine P&D (période 2008 – 2015)**

## Annexe 1 : Projet de Master of Advanced Studies (MAS) en géothermie

**Tableau A1 : Organisation générale**

<b>Institution responsable</b>
Institut de géologie et d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel
<b>Lieu</b>
Faculté des Sciences, UniMail, Université de Neuchâtel
<b>Organisation du MAS</b>
60 ECTS sur 2 semestres (14 semaines/semestre, 4 jours/semaine, 7 heures académiques par jour), à effectuer sur un ou deux ans.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1<sup>er</sup> semestre : cours, exercices, examens, visites d'installations, excursions, regroupés en principe sous forme de modules de 1 à 3 semaines.</li> <li>• 2<sup>e</sup> semestre : stage en entreprise (4 semaines), réalisation du projet de recherche de MAS (4 mois), donnant lieu à la rédaction d'un mémoire et à une défense orale devant un jury.</li> </ul>
<b>Périodicité</b>
Annuelle : à priori la formation sera à plein temps, mais pourra être suivie sur deux ans.
<b>Langue</b>
Anglais : cela permettra de recruter des étudiants et des enseignants au niveau national et international.
<b>Intendance administrative</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Professeur responsable : 10%</li> <li>• Adjoint scientifique : 30%</li> <li>• Secrétariat/administration : 50%</li> </ul>
<b>Laboratoire hôte</b>
Laboratoire de pétrophysique à UniMail, équipé pour les mesures thermiques sur les roches.
<b>Public-cible</b>
MSc ou diplômes jugés équivalents dans les domaines suivants : sciences de la terre, sciences de l'ingénieur, hydrogéologie, géophysique, sciences de l'énergie, etc.
<b>Nombre de participants</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objectif à court terme : dans les premières années, le MAS de géothermie pourrait débiter avec environ 5 participants/an.</li> <li>• Objectif à moyen terme : 10 participants/an, dont une moitié environ de l'étranger.</li> <li>• Objectif à long terme : 15 à 20 participants/an.</li> </ul>
<b>Objectifs</b>
Former des spécialistes en géothermie, capables de monter, planifier, conduire des projets en géothermie.
Défi principal : identification des ressources géothermiques et ingénierie de réservoir.
<b>Débouchés</b>
Bureaux d'ingénieurs, administrations publiques, entreprises générales, assurances, éventuellement entreprises pétrolières.

**Tableau A2 : Contenus et enseignants du MAS de géothermie**

### **Contenus des modules**

- *Bloc 1, 3 semaines : géothermie terrestre (généralités, bases théoriques, exercices).*
- *Bloc 2, 2 semaines : systèmes basse-enthalpie (aspects généraux, technologie d'utilisation, applications, systèmes individuels, planification, pompes à chaleur, aquifères); excursions, exercices en collaboration avec des HES.*
- *Bloc 3, 2 semaines : systèmes haute-enthalpie (aspects généraux, applications, techniques conventionnelles, technique EGS, modélisation, conversion de l'énergie, excursions).*
- *Bloc 4, 2 semaines : ingénierie de réservoir (tests de forages, stimulation, milieux fracturés/continus), exercices.*
- *Bloc 5, 2 semaines : prospection (géologie structurale, tectonique, géophysique, sismicité, géochimie, hydrochimie, forages); exercices en collaboration avec des instituts de géophysique (Uni Lausanne, ETHZ).*
- *Bloc 6, 1 semaine : exploitation (forages de production, pompages, fluides, etc.); exercices.*
- *Bloc 7, 2 semaines : aspects environnementaux, économiques et juridiques, risques naturels et induits par les installations; exercices.*

### **Enseignants pressentis**

- *Professeur en géothermie de l'Université de Neuchâtel.*
- *Enseignants des Hautes écoles suisses (tenir compte des cours existants : ETHZ, EPFL, CHYN, SUPSI, etc.).*
- *Experts de compagnies privées actives dans le domaine concerné.*

### **Comité scientifique**

Composition : un ou deux membres du comité du CREGE, des enseignants de l'Université de Neuchâtel et des Hautes Ecoles impliquées.

### **Autres cours de géothermie**

Il n'existe pas en Europe de MAS semblable à celui qui est prévu par PROGEOTHERM.

Cours proposés dans différentes hautes écoles étrangères :

- *Freiburg-in-Brisgau (D) : Dr. Th. Kohl (Geowatt AG)*
- *Angewandte Geophysik, RWTH, Aachen (D) : Prof. C. Clauser*
- *Freie Universität Berlin (D) : Prof. S. Shapiro*
- *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Nancy (F) : Prof. J.-J. Royer*
- *Ecole des Mines de Fontainebleau (F) : Dr. D. Buel*
- *United Nations University, Reykjavik (IS) : The Geothermal Training Programme*
- *Univ. Of Utah, Salt Lake City (USA) : Prof. D. S. Chapman*
- *Stanford University (USA) : Prof. R. Horne, Stanford Geothermal Program*
- *MIT (USA) : Prof. J. Tester*
- *University of Auckland (NZ) : Postgraduate Certificate in Geothermal Energy Technology*

**Tableau A3 : Budget du MAS de géothermie**

## **Evaluation du budget**

### **1. Coûts et frais, deux semestres**

#### **Coûts fixes effectifs totaux**

- *Honoraires pour les enseignants externes : 50% des 14 semaines (4 jours/sem. et 7 heures/jour) = 200 heures \* CHF 250/heure = 50'000 CHF*
- *Repas & déplacements pour enseignants = 15'000 CHF*
- *Salaires de l'équipe (professeur, collaborateurs scientifiques, secrétariat) = 155'000 CHF*
- *Frais de promotion et de déplacements = 30'000 CHF*

**Total coûts fixes = 250'000 CHF**

#### **Coûts de participation par étudiant**

- *4 semaines de stage = 2'000 CHF payés au prestataire de stage en moyenne pour le suivi du stagiaire ; pas de salaire pour le participant.*
- *4 mois de travail personnel = 10'000 CHF pour supervision et équipement*
- *Polycopiés, fournitures, excursions, etc. = 2'000 CHF*

**Total coûts par étudiant = 14'000 CHF**

### **2. Exemple de budget pour 10 étudiants**

- *Coûts fixes effectifs = 250'000 CHF*
- *Coût de participation = 140'000 CHF*

**Coût total pour 10 étudiants = 390'000 CHF**

### **3. Recettes et subvention**

- *Finances de cours, sans taxes universitaires : 7'500 CHF/participant*
- *Subside fixe de PROGEOTHERM : 300'000 CHF*

### **4. Exemple de recettes pour 10 étudiants**

- *Total finances de cours = 75'000 CHF*
- *Subside fixe PROGEOTHERM = 300'000 CHF*
- *Sponsoring à chercher = 15'000 CHF*

**Recettes totales = 390'000 CHF**

### **5. Remarques:**

- *Les travaux de diplôme devront être faits le plus souvent dans le cadre de projets financés afin de couvrir les frais de recherche des participants. Il sera aussi nécessaire de trouver des sponsors afin d'équilibrer les comptes ci-dessus (environ 15'000 CHF pour boucler le budget avec 10 participants).*
- *Les coûts du professeur de géothermie de l'Université de Neuchâtel ne seront que partiellement imputés au MAS car cette activité sera comprise dans son cahier des charges. Il n'est pas possible de chiffrer avec précision ce montant avant son engagement.*

- *Si dans les premières éditions, le nombre d'étudiants est un peu inférieur à 10, par exemple 7, la recherche de sponsoring ne sera pas nécessaire.*
- *Si ultérieurement, le nombre des participants est supérieur à 10, par exemple 15, il faudra soit intensifier la recherche de sponsoring pour atteindre environ 50'000 CHF, soit augmenter les finances de cours !*
- *En collaboration avec l'Université de Lausanne, il faudra prévoir la mise sur pied d'un Laboratoire ad hoc de pétrophysique et y consacrer un budget de fonctionnement annuel moyen de 40'000 CHF, avec des montants d'investissement plus importants en début de programme.*
- *Des cours devront également être organisés dans les HES et nécessiteront un financement ad hoc de l'ordre de 60'000 CHF par année.*

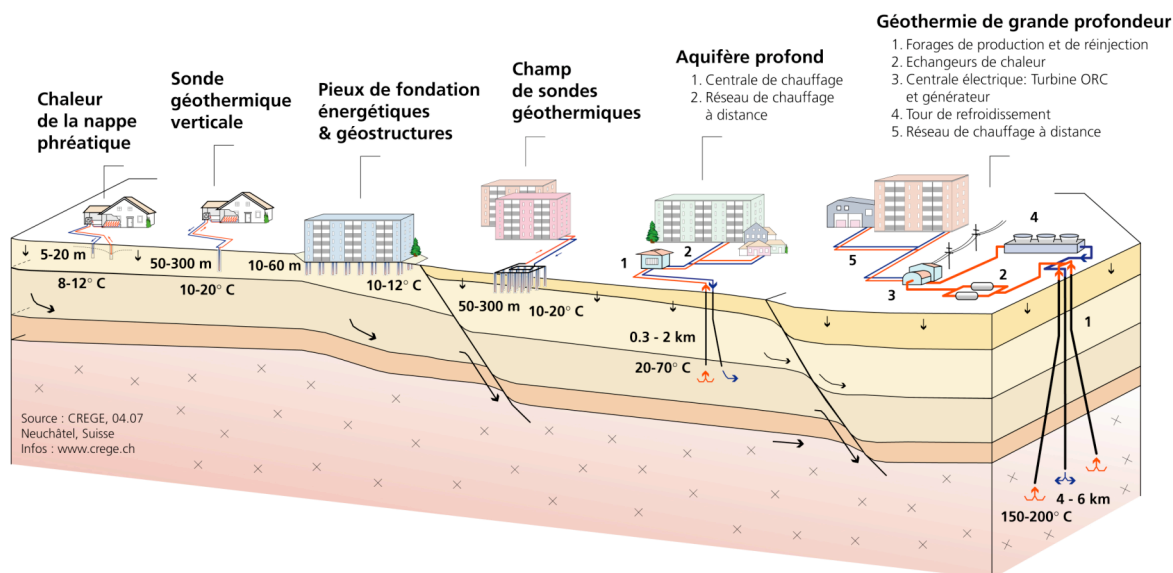
#### **6. Coût total annuel du programme de formation**

- *Fonctionnement du MAS en géothermie = 300'000 CHF*
- *Fonctionnement du Laboratoire de pétrophysique = 40'000 CHF*
- *Soutien à la formation continue dans les HES = 60'000 CHF*
- *Total général des appuis demandés = 400'000 CHF*

Si les possibilités budgétaires sont plus favorables, un montant total de 450'000 CHF mettrait à disposition 50'000 CHF supplémentaires pour maîtriser les imprévus ou octroyer des bourses d'étude, d'échange, de voyage ou de stage.

## Annexe 2 : Systèmes géothermiques et état de leur développement technologique

La figure A1 présente les principaux systèmes géothermiques permettant de capter la chaleur du sous-sol pour en produire de la chaleur et/ou du froid et, pour les systèmes les plus profonds (température > 100 °C), une part d'électricité.



**Figure A1 : Différents types d'exploitation de la géothermie**

Dans ce schéma ne sont pas représentées les ressources géothermiques provenant des sources thermales et des tunnels

### A) Systèmes géothermiques ouverts, de faible à moyenne profondeur

Ces systèmes de faible profondeur et basse température captent l'eau d'une nappe phréatique pour la passer dans un échangeur de chaleur afin d'y extraire son potentiel de chaleur ou de froid pour des besoins de chauffage ou de refroidissement (géocooling). L'eau est ensuite réinjectée en aval dans la nappe.

Il s'agit d'une technologie bien développée avec une bonne efficacité énergétique des pompes à chaleur eau-eau et pour laquelle une large expérience a été acquise. Cette technologie est concurrentielle et intéressante surtout pour les installations de moyenne et grande tailles. Ces systèmes ouverts présentent cependant des problèmes récurrents liés à la qualité de l'eau, aux dépôts de sédiments et aux biofilms qui peuvent conduire à un colmatage des installations et une diminution de leur efficacité.

Dans la même catégorie, on classe également les systèmes qui captent la chaleur des eaux drainées dans les tunnels et pour lesquels diverses technologies peuvent être appliquées. Dans le cas des tunnels, les installations ne sont que rarement planifiées ou planifiable à l'avance car leur mise en œuvre dépend des débits drainés, des opportunités de commercialisation de la chaleur et des impératifs environnementaux (rejets dans les cours d'eau).

## ***B) Systèmes géothermiques fermés, de faible profondeur***

Il s'agit de systèmes dans lesquels le fluide caloporteur circule au travers d'échangeurs de chaleur installés dans les structures souterraines. Ces systèmes captent des ressources géothermiques de basse température. Ils servent au chauffage et au refroidissement (sondes géothermiques individuelles et champs de sondes, géostructures énergétiques, etc.), pour des besoins énergétiques relativement restreints. Le système basé sur les sondes géothermiques verticales est de loin le plus répandu.

Ces installations possèdent un avantage important : la construction et la productivité peuvent être planifiées à l'avance. Toutefois, la puissance extraite et le niveau de température sont proportionnellement faibles.

Globalement les technologies sont bien développées et concurrentielles surtout pour les sondes géothermiques. Les géostructures énergétiques, qui sont des fondations, des murs ou des structures souterraines dont l'inertie thermique est utilisée par des systèmes fermés pour le chauffage ou le géocooling, sont en développement pour de nombreuses applications possibles. Les installations équipées de géostructures énergétiques étant récentes et peu nombreuses, on ne dispose que de peu de recul et d'expérience.

## ***C) Systèmes géothermiques ouverts et profonds***

Il s'agit de systèmes dans lesquels un grand volume de fluide caloporteur circule dans des structures perméables profondes, servant de surfaces d'échange de chaleur. Ces structures perméables sont soit naturelles (porosité de la roche ou fractures ouvertes dans des **aquifères profonds**), soit réalisées techniquement par fracturation hydraulique ou par attaque chimique dans des systèmes de grande profondeur. On parle dans ce dernier cas de **Systèmes Géothermiques Stimulés** (SGS) ou Enhanced Geothermal Systems (EGS).

Pour que ces systèmes fonctionnent, il faut que le milieu (roche ou fracture) ait une perméabilité élevée. Dans ce cas, des puissances thermiques élevées peuvent être extraites : Pour simplifier, plus les structures captées par ces systèmes sont profondes, plus les températures obtenues sont élevées.

### **Aquifères profonds**

Concernant les aquifères profonds, le captage par forage dans des structures naturellement perméables implique un risque à l'investissement élevé, car en Suisse, les données hydrogéologiques et géothermiques pertinentes sur le sous-sol profond ne sont que très fragmentaires. Les données géologiques connues indiquent cependant que de très grandes structures profondes peuvent être aquifères et fournir un potentiel géothermique considérable que pourrait capter un grand nombre d'installations décentralisées, notamment sous le Plateau suisse et dans les Alpes, pour la production de chaleur et d'électricité.

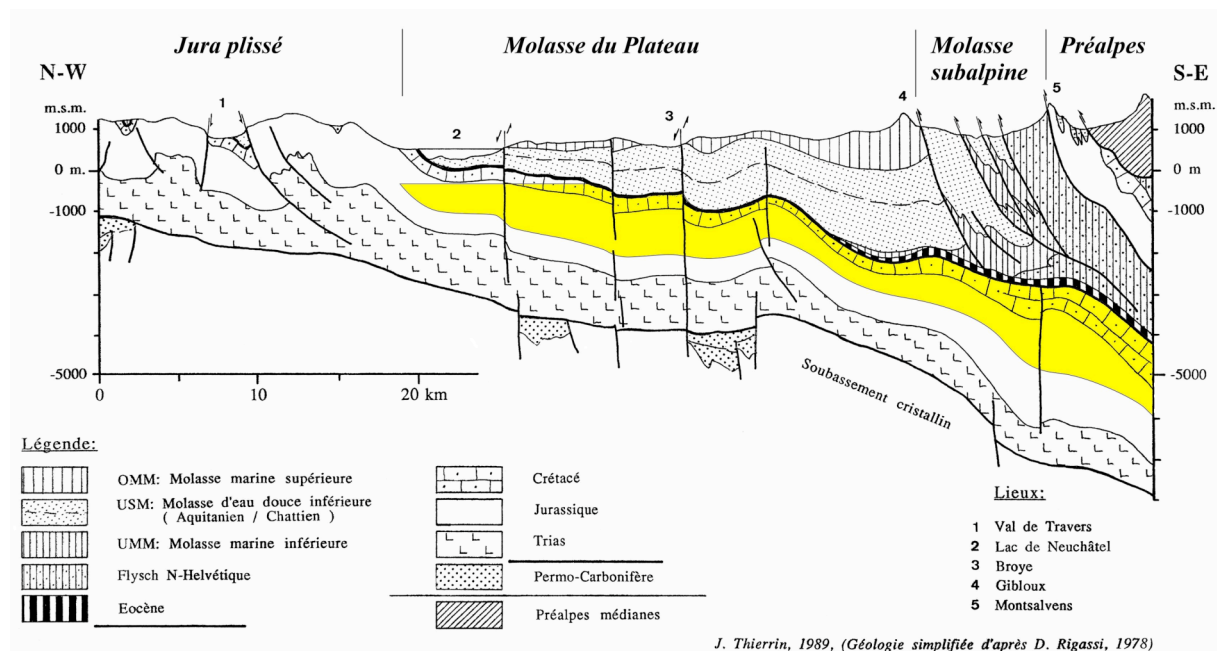
A titre d'exemple, la figure A2 ci-dessous indique en surimpression jaune, la présence de calcaires aquifères avec un bon potentiel géothermique, à une profondeur comprise entre 1'000 et plus de 6'000 m sous le Plateau et la frange nord des Préalpes de Suisse occidentale.

Des technologies dans ce domaine ont été développées dans certaines régions, notamment le Bassin parisien. Les difficultés à surmonter concernent principalement la définition des zones et des structures perméables, leur captage efficace et la gestion du chimisme des eaux profondes.

Un des rares exemples de captage des eaux d'un aquifère profond en Suisse pour la production de chaleur, est celui de Riehen près de Bâle, en fonction depuis 1994. Sa production de chaleur permet d'économiser annuellement 1'300 tonnes d'huile de chauffage. Un autre

exemple est celui du Centre thermal de Lavey-les-Bains (Vaud), où un forage de 600 m de profondeur fournit, depuis 1998, un débit moyen de 1'000 l/min d'eau à 65°C permettant d'assurer la totalité des besoins en chaleur du centre thermal. Cette ressource géothermique permet d'économiser 1'500 tonnes d'huile de chauffage par an.

En Suisse, de nombreux sites potentiels de captage de la chaleur dans des aquifères profonds pourraient être étudiés. Pour définir précisément les emplacements les plus favorables, l'interprétation et la compilation des données existantes ainsi que les méthodes d'exploration doivent faire l'objet de projets de recherche appliquée.



**Figure A2 : Coupe géologique entre le Jura et les Préalpes de Suisse occidentale (d'après Thierrin 1990). En jaune, les formations calcaires entre 1000 et 6000 m de profondeur avec un potentiel géothermique.**

## Systèmes Géothermiques Stimulés (EGS)

Le développement des techniques permettant d'augmenter la perméabilité des systèmes géothermiques à grande profondeur (EGS) se trouve encore à un stade de recherche pour la géothermie, alors qu'elle est pratiquée couramment dans les champs pétroliers. Cette recherche menée actuellement en France, en Allemagne et en Australie surtout, a pour objectif fondamental de rendre le succès des réalisations moins dépendant des conditions géologiques. Les énormes quantités de chaleur que les systèmes EGS pourraient capter en grande profondeur et partiellement convertir en électricité, leur confèrent un potentiel de développement considérable, pour lequel un effort important de recherche & développement sur un large front de domaines, doit être consenti.

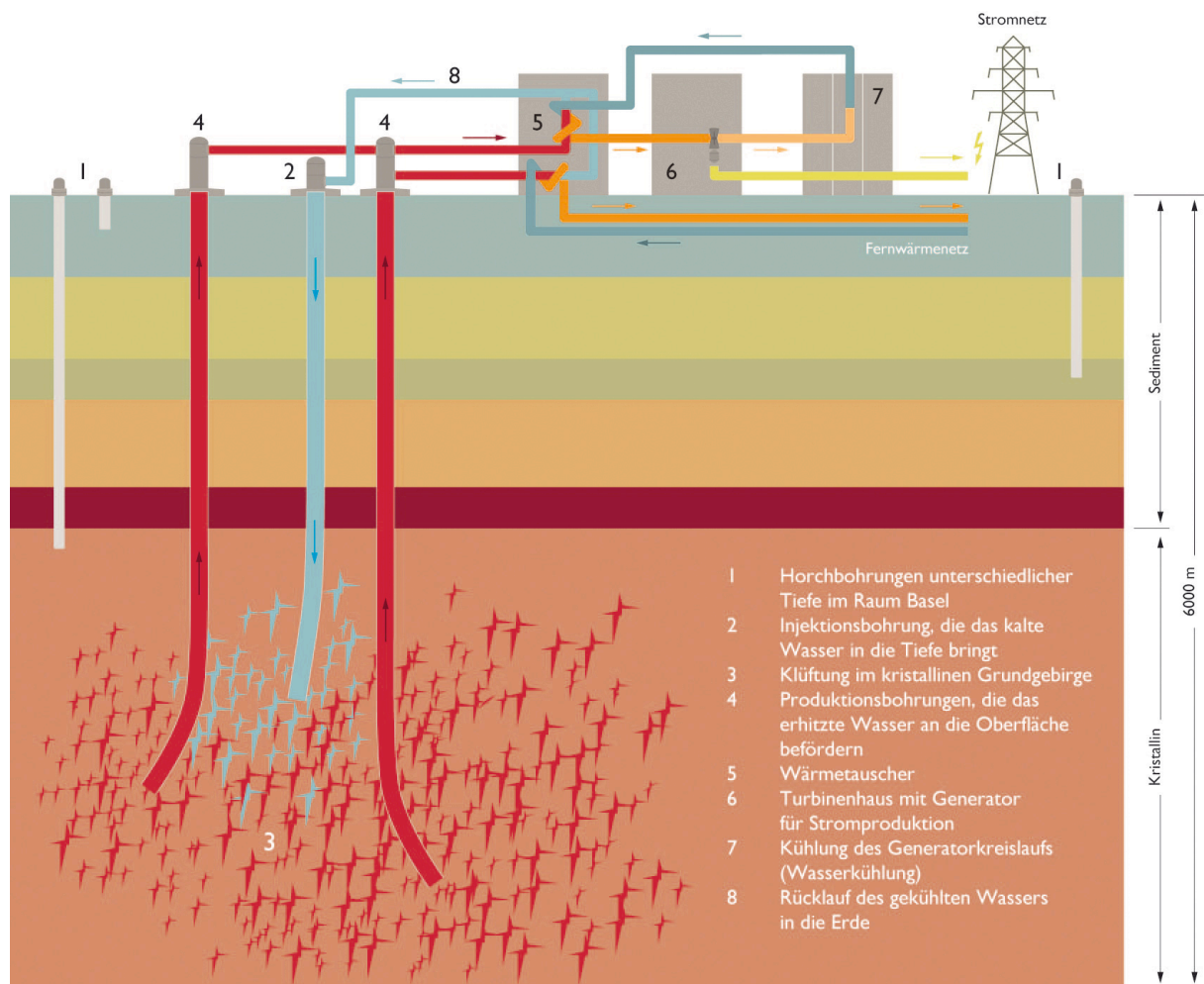
Le projet DHM (Dep Heat Mining) de Bâle avait pour objectif de construire à l'horizon 2009 une centrale EGS, productrice de chaleur et d'électricité. Les événements sismiques survenus en décembre 2006 au cours des travaux de stimulation hydraulique de la roche profonde en ont décidé autrement. Suite à l'arrêt des travaux et des investigations de ce projet, la SSG/SVG a appelé de ses vœux la mise en route d'un programme national de recherche & de développement pour la production d'électricité par la géothermie profonde. Depuis lors, un papier stratégique (FEGES : Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur geothermischen Stromerzeugung in der Schweiz), a été rédigé sous l'égide de l'organisation faîtière GEOTHERMIE.CH pour définir les conditions cadre nécessaires pour que la production



d'électricité par la géothermie atteigne une maturité technologique et économique dans un laps de temps de 25 ans.

Quel que soit l'avenir du projet DHM de Bâle, le cas est unique en Suisse de disposer d'un forage de 5 km de profondeur traversant toutes les séries sédimentaires et pénétrant profondément dans le socle cristallin. C'est un véritable laboratoire à l'échelle 1 : 1, d'une valeur inestimable pour la recherche.

On observe une transition continue entre le captage de réservoirs géothermiques naturellement perméables et le développement de volumes rocheux dont la perméabilité est produite techniquement (par fracturation hydraulique ou par l'action de composés chimiques). Le succès du développement de ces deux types d'ingénierie géothermique dépend d'un effort de recherche important qui reste encore à réaliser (figure A3).



#### Funktionsweise des Deep Heat Mining

Die in der Abbildung gewählten Ausmasse der Gebäude entsprechen nicht den Originalgrössenverhältnissen, sie dienen lediglich der besseren Anschauung.

**Figure A3 : Schéma de fonctionnement du projet Deep Heat Mining à Bâle (Geopower-Basel AG).**

## **Annexe 3 : Tâches prévues dans le domaine Pilote & Démonstration (P&D)**

***Analyser de manière systématique les différents freins qui entravent le lancement de projets géothermiques profonds, et plus particulièrement les aspects suivants :***

1. Connaissances lacunaires du potentiel géothermique (cadastre régional, zones cibles).
2. Connaissances techniques et scientifiques parfois limitées pour l'exploration d'une cible (géologie, hydrogéologie, techniques de forages et de tests, etc.).
3. Connaissances encore insuffisantes des technologies modernes de valorisation et d'exploitation de la ressource énergétique.
4. Absence de données concernant les besoins en chaleur d'utilisateurs potentiels (zones industrielles, agglomérations, etc.).
5. Investissements nécessaires pour les études de faisabilité et de rentabilité des projets, estimation des risques financiers et montage des financements.
6. Risques financiers liés aux aléas géologiques, absence de mesures d'encouragement (couverture du risque géologique).

Il s'agit d'analyser systématiquement les lacunes de données et d'information ainsi que les difficultés rencontrées en cours de projet et de trouver des solutions. Celles-ci doivent permettre d'une part de déterminer le plus à l'amont possible les chances de succès et les risques d'un projet et d'autre part de faire avancer efficacement les projets prometteurs jusqu'en phase d'exploration. Pour chacun des projets poursuivis, des objectifs mesurables doivent être fixés, leur réalisation nécessite de mettre en place un concept et une structure adaptés.

***Elaborer un concept efficace de couverture du risque géologique et définir les conditions cadre pour son application***

1. Nature et moyens financiers du fonds de couverture, mode de financement et de gestion.
2. Critères d'attribution du droit à la couverture, mode d'évaluation des requêtes, détermination des conditions de succès/échec, définition des risques supportables.
3. Suivi et appréciation de la réalisation des projets géothermiques.
4. En cas d'échec, mode de calcul pour établir le taux de remboursement en fonction des résultats obtenus.
5. Nature et financement de moyens supplémentaires pour améliorer la productivité en cas de résultats médiocres (stimulation du puits).

La mise en place d'une couverture du risque de forage représente la pièce maîtresse pour la réussite des activités futures du domaine P&D. Il faut donc élaborer en priorité un concept simple et attractif qui puisse bénéficier rapidement d'une approbation au niveau politique. Des idées originales par rapport à l'ancien système de 1987-97 pourraient inclure par exemple :

- Participation au financement du fonds de couverture pour les projets réussis (taxe de solidarité).

- Détermination d'un taux de remboursement maximum, différencié en fonction de la nature du projet (plus élevé pour l'utilisation directe de la chaleur ou la production mixte électricité + chaleur) et des investissements à consentir.
- Possibilité de refuser l'octroi de la couverture pour les projets dont les risques d'échec géologique sont jugés trop importants.

***Encourager et participer au lancement d'études régionales pour l'évaluation du potentiel géothermique au niveau cantonal***

Les Services cantonaux de l'énergie disposent de fonds pour financer de telles études. Celles-ci permettent entre autres d'identifier les aquifères profonds potentiels, de délimiter en surface des zones favorables pour atteindre les cibles intéressantes du point de vue géothermique (bonne perméabilité du massif rocheux), d'en estimer le potentiel énergétique et les consommateurs de chaleur.

***Dans les cantons où ces études sont déjà disponibles, rechercher et identifier de manière précise des secteurs favorables et des cibles prioritaires pour l'exploitation et la valorisation de la géothermie***

1. Informer les communautés publiques ou privées situées dans ces secteurs.
2. Évaluer les besoins actuels et futurs en énergie : projets de construction et de rénovation prévus ou en phase d'évaluation, envois de questionnaires aux communes et aux industriels.
3. Intéresser les demandeurs d'énergie ainsi que les exploitants et investisseurs potentiels et les convaincre de considérer l'alternative géothermique pour couvrir les besoins en énergie (élaboration d'un catalogue d'arguments).

Cela implique d'évaluer les conditions hydrogéologiques locales et le potentiel géothermique, d'identifier les utilisateurs potentiels et d'analyser leurs besoins en chaleur, de définir les modes de distribution et d'utilisation de l'énergie, etc. Cette tâche demande également l'intervention d'un spécialiste en énergie pour mettre en évidence et quantifier des activités avec des besoins en chaleur significatifs situées à proximité du futur site de forage.

***Stimuler le démarrage de nouveaux projets géothermiques, apporter un soutien financier et un savoir-faire au montage de ces projets***

1. Etablissement d'un concept initial et estimation du budget.
2. Montage du projet et étude préliminaire.
3. Etude de faisabilité, préparation d'un dossier technique et financier.
4. Montage du financement, préparation de la requête de couverture du risque géothermique.

L'implication du domaine P&D est essentielle durant ces étapes initiales, qui doivent conduire à la réalisation du forage d'exploration. Il s'agit de favoriser le démarrage du projet en mettant en place un concept initial crédible, simple et attractif.

***Participer au suivi technique et scientifique (encadrement / assurance qualité)  
à tous les échelons de réalisation des projets géothermiques***

1. Exploration : implantation, préparation et réalisation de forages de reconnaissance, tests de productivité.
2. Mise en service : équipement du puits d'exploitation et tests de production.
3. Production : suivi de la phase d'exploitation et de valorisation de la ressource géothermique profonde.

La participation des spécialistes du domaine P&D durant ces phases de projet doit permettre d'optimiser les chances de succès, en évitant des erreurs de conception et en apportant des solutions aux problèmes techniques rencontrés.

## Annexe 4 : Etapes d'un projet géothermique en aquifère profond

### ETAPES D'UN PROJET GEOTHERMIQUE EN AQUIFERE PROFOND : ACTIVITES ET TACHES DES INTERVENANTS, COÛTS FINANCÉS

Etapes du projet et activités		Financement PROGEOTHERM				Liste des activités et tâches des intervenants	Coûts * financés (milliers CHF)
		Unité P&D	Experts P&D	Investig. complém.	Bureaux d'étude		
1	Identification et sélection de projets potentiels	✓	-	-	✓	Compilation par le CP de la littérature, analyse et synthèse des informations, sélection de secteurs avec potentiel géothermique et besoins en chaleur potentiellement significatifs. Premier contact avec les investisseurs potentiels (communautés publiques, sociétés, entreprises, etc.). Ce travail peut être aussi initié et réalisé par un BE (prestations subventionnées dans le cadre de PROGEOTHERM)	5 - 15
2	Etude conceptuelle, initiation et démarrage d'un projet géothermique	✓	✓	-	✓	Mise sur pieds par le CP d'un dossier technique succinct (aspects géologiques, hydrogéologiques, géothermiques et énergétiques) pour présentation aux investisseurs potentiels (communautés publiques, sociétés, entreprises, etc.). Si nécessaire, intervention d'un expert en énergie pour une première évaluation des besoins en chaleur. Ce travail peut être aussi initié et réalisé par un BE (prestations subventionnées dans le cadre de PROGEOTHERM)	15 - 25
3	Etude préliminaire	✓	✓	-	-	Basée sur l'analyse et l'interprétation des données existantes, menée par des BE locaux sous la supervision du CP. Interventions ponctuelles des experts si nécessaire. Montage financier pour l'étude de faisabilité, mise sur pieds d'un groupement d'investisseurs	10 - 15
4	Etude de faisabilité, montage financier, éventuellement investigations complémentaires	✓	✓	✓	-	Etude réalisée par les BE mandatés par le MO. Vérification de tous les aspects inhérents au projet (géologie, rejet eaux thermales, analyse de risques, valorisation de la chaleur, autorisations, etc.). Montage financier pour la réalisation d'un forage. Si nécessaire, le CP intervient ponctuellement et active les experts. Participation au financement d'investigations complémentaires possible (sismique réflexion, géochimie, etc.)	30 - 100
5	Requête pour la couverture du risque géologique	✓	✓	-	-	Etablissement par les BE du dossier de requête pour la couverture du risque géologique. Dossier évalué par une commission composée par le CP et deux experts (géothermie + énergie)	15 - 20
6	Forages d'exploration et tests de productivité, éventuellement approfondissement ou stimulation	✓	✓	✓	-	Appui technique et scientifique aux BE mandatés par le MO (coaching et assurance qualité). Sur demande, le CP active les experts en fonction des besoins et des problèmes. Réalisation de tests hydraulique ou logging en dehors des procédures habituelles, analyse et interprétation des résultats par les experts. Une participation au financement de l'approfondissement du forage ou à la stimulation du réservoir est possible.	30 - 120
7	Equipement du puits, essais de pompage et mise en production. Caractérisation du réservoir	✓	✓	✓	-	Appui technique et scientifique aux BE mandatés par le MO (coaching et assurance qualité). Sur demande, le CP active les experts en fonction des besoins et des problèmes. Réalisation de tests hydrauliques et mesures en dehors des procédures habituelles pour optimiser le fonctionnement du doublet, analyse et interprétation des résultats par les experts	30 - 60
8	Si nécessaire, réalisation d'un doublet et tests de circulation. Eventuellement stimulation	✓	✓	✓	-	Appui technique et scientifique aux BE mandatés par le MO (coaching et assurance qualité). Sur demande, le CP active un ou des experts en fonction des besoins et des problèmes. Mise à disposition d'équipements de mesures, réalisation de tests en dehors des procédures habituelles, analyse et interprétation des résultats par les experts. Une participation au financement de la stimulation du réservoir est possible.	30 - 100
9	Suivi du(des) puits en phase d'exploitation, évaluation de l'évolution du réservoir	✓	✓	✓	✓	Suivi du fonctionnement de l'installation géothermique en phase d'exploitation par des BE. Suivi hydrogéologique et mesures pour évaluer l'évolution du réservoir. Sur demande, le CP active les experts en fonction des besoins et des problèmes (colmatage, corrosion, baisse de température du fluide, etc.). Suggérer des développements pour optimiser la valorisation de la ressource géothermique.	50 - 80

\* De manière exceptionnelle, le plafond peut être dépassé

TOTAL PAR PROJET (milliers CHF) 215 - 535

## Annexe 5 : Budget prévisionnel du domaine P&D (période 2008 – 2015)

Occupation 100% = 1'850 h par poste

Unité de gestion P&D	2008	2009	2010	2011	2012 - 2015
Postes	2	2	2	2	2
Années	0.5	1.0	1.0	1.0	4.0
% occupation CP	80%	50%	50%	55%	30%
Collaborateurs Secrétariat	220 h	250 h	250 h	265 h	190 h

Tarifshoraires	SFr. 152	SFr. 152	SFr. 127		
Année	Unité de gestion P&D	Experts P&D	Bureaux d'étude	Investigations complémentaires	Frais divers
<b>2008</b> (1/2 année)	1'700 h 81% SFr. 516'800	300 h 7% SFr. 45'600	500 h 10% SFr. 63'500	0% SFr. 0	2% 2% SFr. 12'518
<b>2009</b>	2'100 h 62% SFr. 638'400	600 h 9% SFr. 91'200	900 h 11% SFr. 114'300	15% SFr. 150'000	3% 3% SFr. 298'17
<b>2010</b>	2'100 h 53% SFr. 638'400	700 h 9% SFr. 106'400	900 h 10% SFr. 114'300	25% SFr. 300'000	3% 3% SFr. 34'773
<b>2011</b>	2'300 h 51% SFr. 699'200	700 h 8% SFr. 106'400	600 h 6% SFr. 76'200	33% SFr. 450'000	2% 2% SFr. 26'636
<b>2012-2015</b> (4 ans)	5'200 h 38% SFr. 1'580'800	2'800 h 10% SFr. 425'600	2'000 h 6% SFr. 254'000	43% SFr. 1'800'000	2% 2% SFr. 81'208
<b>TOTAL PERIODE 2008 - 2011</b>					<b>SFr. 421'444</b>
<b>TOTAL PERIODE 2008 - 2015</b>					<b>SFr. 8'356'052</b>
<b>Moyenne annuelle durant la période 2008 - 2015</b>					<b>SFr. 1'044'507</b>