



„Der Oberrhein wächst zusammen – mit jedem Projekt.“
 „Dépasser les frontières: projet après projet“
 „Transcending borders with every project“



Regierungspräsidium Freiburg
 Landesamt für Geologie, Rohstoffe
 und Bergbau (LGRB)
 Baden-Württemberg



Géosciences pour une Terre durable

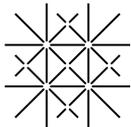
brgm

Bureau de Recherches
 Géologiques et Minières
 (BRGM)
 France



Landesamt
 für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

Landesamt für Geologie
 und Bergbau (LGB)
 Rheinland-Pfalz



UNI
 BASEL

Universität Basel:
 Abteilung Angewandte
 und Umweltgeologie
 Schweiz



Amt für Umwelt und Energie
 Kanton Basel-Stadt



Amt für Militär und
 Bevölkerungsschutz,
 Amt für Umweltschutz und Energie
 Kanton Basel-Landschaft



Schweizer Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra



Région Alsace



ADEME

Conseil Général



Haut-Rhin

Conseil Général
 du Haut-Rhin (CG68)



Kommission Klimaschutz
 der Oberrheinkonferenz
 Frankreich, Schweiz, Deutschland



Conseil Général
 du Bas-Rhin (CG67)



Dieses Projekt wird von der Europäischen Union kofinanziert - Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)

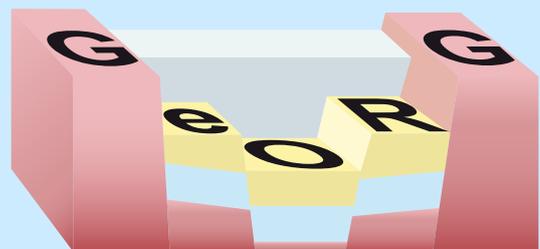
Ce projet est cofinancé par l'Union Européenne - Fonds européen de développement régional (FEDER)

Interreg IV A Oberrhein / Rhin supérieur

Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben

Potentiel géologique profond du Fossé rhénan supérieur

**Exposés
 concernant l'atelier technique
 le 18.11.2010 à Fribourg**



Editeur: Regierungspräsidium Freiburg - Service 9
Service de Géologie, des Matières Premières et des Mines
Albertstraße 5, D-79104 Fribourg-en-Brigau (République Fédérale d'Allemagne)
Téléphone: +49 761 208-3000
Téléfax: +49 761 208-3029 ou -393029
Courriel: abteilung9@rpf.bwl.de
Site internet: <http://www.rp-freiburg.de>
 <http://www.lgrb.uni-freiburg.de>

Rédaction: Günter Sokol
 Dr. Heiko Zumsprekel

Illustration: Joachim Schuff

Traduction: Dr. Matthias Geyer

Mise à jour: novembre 2010

LGRB (éditeur) (2010): Exposés concernant l'atelier technique GeORG le 18.11.2010 à Fribourg. -
<http://www.geopotenziiale.org/workshop>.

L'objectif de l'atelier technique du projet Interreg IV A « Potentiel géologique profond du Fossé rhénan supérieur (GeORG) » est de présenter les premiers résultats et de discuter avec le public et les spécialistes. Dans la partie communication du programme, on présentera les objectifs, les contenus du projet, les possibilités d'utilisation et le futur contexte du projet. Dans la partie du programme sur la détermination du projet, les méthodes utilisées dans l'harmonisation des « Länder », l'interprétation et le modelage des données géologiques, ainsi que l'échange spécifique avec des projets aux thèmes analogues du modelage à trois dimensions, servant à l'utilisation de potentiels géologiques, sont mis en avant.

L'ouvrage présent sur le séminaire résume les exposés de la conférence du 18 novembre 2010 à Fribourg.

Table des matières

Partie 1 : Exposés sur le programme de communication	<i>page</i>
Pourquoi un projet Interreg GeORG <i>Prof. Dr. Ralph Watzel</i>	3
Le potentiel géologique profond du Fossé rhénan supérieur <i>Prof. Dr. Harald Ehses</i>	4
Importance de l'énergie géothermique profonde dans la stratégie énergétique du canton de Bâle-Campagne <i>Christoph Plattner</i>	5
Le projet „Speicherkataster“ - Base géologique en Bade-Wurtemberg <i>Dr. Gunther Wirsing, Dr. Charlotte Fehn, Dr. Wolfgang Engesser</i>	7
Partie 2 : Exposés sur le programme de la détermination du projet	
Prospection des potentiels géologiques profonds : Techniques, méthodes de travail, compilation des données et état du projet GeORG <i>Isabel Rupf, Dr. Birte Anders, Dr. Edgar Nitsch, Dr. Heiko Zumsprekel, Dr. Laurent Beccaletto, Dr. Laure Capar, Dr. Thomas Kärcher, Jörg Tesch</i>	9
Le projet GEORG: interprétation sismique, cadre structural et modélisation 3D – premiers résultats scientifiques <i>Dr. Laurent Beccaletto, Dr. Laure Capar, Davy Cruz-Mermy, Gwennolé Oliviero, Philippe Elsass, Armelle Perrin, Isabel Rupf, Dr. Edgar Nitsch, Jörg Tesch</i>	13
Modèle géologique 3D de la région de Bâle – un outil pour explorer les géopotentiels <i>Dr. Horst Dresmann, Prof. Dr. Peter Huggenberger, Jannis Epting</i>	15
Analyse tridimensionnelle du Bassin de Heidelberg, Rhin Supérieur <i>Dr. David C. Tanner, Nicole Martini, Dr. Hermann Buness, Dr. Gerald Gabriel, Prof. Dr. Charlotte M. Krawczyk</i>	17
Modélisation géologique 3D, deux exemples d'application dans le Fossé Rhénan: le secteur de Strasbourg-Obernai et le site de géothermie profonde de Soultz-sous-Forêts <i>Dr. Chrystel Dezayes, Gloria Heilbronn, Paul Bailleux, Dr. Isabelle Thinon, Gabriel Courrioux, Dr. Philippe Calcagno</i>	18
Modèle 3D des potentiels géologiques profonde en Hesse <i>Dr. Matthias Kracht, Dr. Johann-Gerhard Fritsche, Dirk Arndt, Kristian Bär, Prof. Dr. Andreas Hoppe, Prof. Dr. Ingo Sass</i>	21
Caractérisation géothermique des réservoirs et modélisation – méthodes et stratégies pour obtenir les propriétés thermiques pour l'amélioration des paramètres initiaux de la modélisation <i>Dr. Renate Pechnig, Dr. Darius Mottaghy</i>	24

Pourquoi un projet Interreg GeORG

Watzel, Prof. Dr. Ralph¹⁾*

¹⁾ *Regierungspräsidium Freiburg Abt. 9, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Freiburg, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br., Allemagne*

* *Interlocuteur | courriel: ralph.watzel@rpf.bwl.de*

Dans le Fossé rhénan, les sols et les parties proches de la surface du sous-sol géologique sont soumis à une utilisation intensive par l'agriculture, par l'exploitation de la nappe aquifère, des ressources naturelles et – de plus en plus – par la géothermie. Pour cette raison, cette région est ciblée depuis de nombreuses années pour la recherche géologique. La connaissance détaillée des propriétés du sous-sol et des processus qui les conditionnent est nécessaire au préalable pour l'utilisation durable du potentiel géologique et permettra une comparaison qualifiée en cas d'utilisations concurrentielles. Depuis plusieurs années, ces questions géologiques sont traitées de façon transfrontalière dans le Fossé rhénan. L'Union Européenne finance ces travaux de recherche dans le cadre de sa politique de cohésion.

Depuis quelques années, le sous-sol profond est également exploré et exploité. Dernièrement, les questions relatives à ses potentiels géologiques sont devenues plus importantes. Il y a une longue tradition d'exploitation d'hydrocarbures dans une partie du Fossé rhénan. L'utilisation des eaux minérales et thermales remonte à l'époque romaine. Le débat concernant la protection du climat a mis en avant tout particulièrement des aspects d'utilisation de la géothermie profonde ou encore une possible séquestration du CO₂ (CCS) et/ou de l'air comprimé. L'activité sismique dans le Fossé rhénan, mais aussi les séismes provoqués à certains endroits, démontrent la nécessité de ne pas oublier les possibles risques géologiques au cours de l'exploration des potentiels géologiques.

Les services géologiques ainsi que les autres partenaires en Allemagne, France et Suisse ont une longue tradition de coopération commune couronnée de succès. Tous les participants à cette réunion sont réputés comme partenaires de projet à la fois compétents et fiables.

Les expériences d'autres projets transfrontaliers dans le cadre des programmes INTERREG nous ont appris le grand bénéfice des études et des données géologiques élaborées et concertées de manière transfrontalière pour les spécialistes, mais aussi pour l'administration et les décideurs politiques. Pour le sous-sol profond, les limites géologiques du Fossé rhénan nous indiquent les zones homogènes et transfrontalières qu'il faut étudier ensemble. Dans le débat politique, l'utilisation et l'emploi concurrentiels des sols concerne maintenant également le sous-sol profond.

Les services géologiques dans la région ont déjà une histoire commune dans l'interprétation géologique du sous-sol profond. Le premier projet transfrontalier, également financé par l'Europe, fut lancé dans les années 1970. Depuis, les données géologiques et les interprétations ont été poursuivies de manière individuelle dans les pays partenaires. Parallèlement, les méthodes de travail géoscientifiques ont progressé énormément lors des dernières trois décennies. C'est pourquoi le credo du projet GeORG s'intitule « rassembler les contributions de chaque pays et les faire développer ensemble ». En fonction de leurs qualifications spécifiques, les partenaires prennent en charge la coordination des tâches particulières pendant tout le projet. Avec une focalisation des compétences individuelles on obtient une plus-value pour le projet et grâce à l'échange parallèlement une meilleure qualification de tous les partenaires. Ce rassemblement des meilleurs des pays pour résoudre ensemble des tâches communes est aussi l'essentiel de la philosophie de la Région Métropolitaine du Rhin supérieur.

Le but du projet GeORG sont la saisie, l'harmonisation et la documentation des données existantes dans une banque de données transfrontalière, la compilation d'un modèle 3D pour les formations géologiques les plus importantes basées sur les forages mais surtout les données sismiques nouvellement traités, la paramétrisation des entités géologiques avec les caractéristiques des roches et de la nappe, la dérivation des tableaux synoptiques pour la planification future et des projets concrets, ainsi que la disponibilité publique des résultats du projet de façon moderne.

Les résultats principaux du projet sont obtenus sous forme de données géologiques électroniques. Le projet touche ainsi un autre accent de la politique de l'Union Européenne qui consiste en la création d'une structure uniforme des données géologiques au sein de l'Union même (Directive 2007/2 INSPIRE). Les résultats de cette synthèse transfrontalière seront publiés à la fin sous forme de données géologiques conformément aux

buts et directives formulés par l'Union Européenne. Il est impossible de combiner plus de « Géo » et « Europe »!

Un but important des programmes INTERREG c'est l'initialisation des projets afin d'établir des partenariats à long terme ainsi que la mise en place d'une infrastructure autoporteuse après la fin du projet. Les conditions préalables, la conception et les résultats obtenus jusqu'à présent se rangent parfaitement bien dans ce couloir. A la fin du projet, nous allons présenter une perspective en vue des possibilités d'un futur développement.

Le but de cet atelier technique aujourd'hui c'est la présentation des premiers résultats et des résultats préliminaires, la communication de ces résultats au public et aux instances européennes qui ont financé le projet ainsi que l'échange scientifique entre les experts au-delà du projet au sens strict. Un grand merci au programme INTERREG pour les subventions et à tous les partenaires du projet pour cette excellente coopération!

Le potentiel géologique profond du Fossé rhénan supérieur

Ehses, Prof. Dr. Harald ¹⁾*

¹⁾ Landesamt für Geologie und Bergbau Mainz, Emy-Roeder-Straße. 5, D-55133 Mainz, Allemagne

* Interlocuteur | courriel: harald.ehses@lgb-rlp.de

Le Fossé rhénan supérieur a une histoire géologique complexe et présente une multitude de potentiels géologiques. Ces ressources naturelles connaissent actuellement un regain d'intérêt parmi les spécialistes et le public en raison des préoccupations sur les changements climatiques.

Une bonne connaissance du sous-sol géologique est indispensable pour une utilisation durable et efficace des potentiels géologiques. Des données et des méthodes techniques nouvelles permettent un développement des inventaires géothermiques existants réalisés entre 1979 et 1981 dans le cadre du projet « GeORG ». Une idée principale du projet est la compilation transfrontalière des données harmonisées ainsi qu'une modélisation 3D extensive du sous-sol.

Ceci permet des indications concernant le cadre géologique pour la géothermie profonde, la profondeur des aquifères (utilisation des eaux minérales et thermales) et l'aptitude du sous-sol pour la séquestration du CO₂ et du gaz. Au-delà, cette synthèse géologique peut fournir les premières indications pour des conflits éventuels des usagers des potentiels géologiques différents.

Les données géologiques rassemblées dans le projet « GeORG » fournissent les informations de base pour la planification d'autres projets, mais elles ne remplacent pas des études supplémentaires détaillées.

Importance de l'énergie géothermique profonde dans la stratégie énergétique du canton de Bâle-Campagne

Plattner, Christoph ¹⁾*

¹⁾ Amt für Umweltschutz und Energie Kanton. Basel-Landschaft, Rheinstrasse 29, 4410 Liestal, Suisse

* Interlocuteur | courriel: christoph.plattner@bl.ch

La géothermie (profonde) comme rayon d'espoir de la politique énergétique à Bâle-Campagne

La politique énergétique a une longue tradition dans le Canton de Bâle-Campagne.

En 1991 déjà, le canton Bâle-Campagne a adopté comme un des premiers cantons de la Confédération helvétique sa propre loi énergétique cantonale. Depuis, le Canton mise de manière conséquente une utilisation économe, rationnelle et non polluante de l'énergie – ceci dans l'intention de substituer le plus possible les ressources énergétiques non renouvelables par des ressources renouvelables. Dans ce contexte, le Canton propose depuis 20 ans un catalogue de subventions énergétiques et marque ainsi activement le secteur de la construction de bâtiments depuis des années.

Avec sa stratégie énergétique, le gouvernement a renoué avec cette tradition en 2008

Après la publication des derniers rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), plus que 50 propositions visant des aspects différents de la politique énergétique ont été déposées au parlement de Bâle-Campagne. Le gouvernement a réagi et publié le 8 avril 2008 sa stratégie de politique énergétique du Canton Bâle-Campagne. Ainsi il indique le chemin de politique énergétique pour les années à venir. Cette stratégie vise une « société à 2000 watts » et contient 10 maximes et 27 mesures de mise en pratique concrètes.

La stratégie énergétique de Bâle-Campagne vise l'efficacité et les énergies renouvelables.

Les potentiels en ressources renouvelables sont très limités dans le Canton. En plus, ils se trouvent pratiquement tous au beau milieu des contraintes avec d'autres intérêts (p. ex. l'énergie éolienne contre la protection de paysage, l'énergie hydraulique contre la pêche et l'écologie, etc.). Une opposition se manifeste pour quasiment chaque projet concret. On peut en déduire déjà maintenant, que seule une partie minime des potentiels existants sera réellement exploitée. Pour cette raison, la stratégie énergétique s'appuie surtout sur l'efficacité de l'énergie utilisée et un mixe équilibré de différentes ressources énergétiques renouvelables.

Le peuple a récemment voté en faveur des perspectives énergétiques mesurables.

Le 26 septembre 2010, le peuple de Bâle-Campagne a voté pour la première fois des directives énergétiques mesurables concernant les besoins de chaleur de chauffe (constructions récentes et anciennes) et un prorata d'énergies renouvelables. Conformément à la modification de la loi cantonale sur l'énergie qui prendra effet au 1^{er} janvier 2011, le prorata des énergies renouvelables par rapport à la consommation totale doit s'élever à 40% en 2030. Ce chiffre ne tient pas compte de la consommation énergétique pour la mobilité.

Le soutien de la géothermie à Bâle-Campagne sera le même dans l'avenir comme au passé.

Le Canton Bâle-Campagne soutient l'utilisation de la géothermie de surface moyennement des subventions pour les sondes géothermiques depuis longtemps. Entretemps, plusieurs centaines d'installations avec deux sondes en moyenne par site ont été réalisées dans le Canton. Cette politique de subventions pour la géothermie de surface est poursuivie actuellement. Elle s'appuie sur la mesure de mise en pratique concrète n° 21 de la stratégie énergétique du Canton. Malgré le coup de sort à Bâle, la géothermie profonde avec son grand potentiel à long terme est maintenue comme option pour l'avenir (mesure de mise en pratique n° 22).

La géothermie est la source énergétique de l'avenir et un rayon d'espoir pour la politique énergétique.

En théorie, le potentiel exploitable à long terme est énorme. Selon des études différentes, la géothermie dispose en Suisse de loin du plus grand potentiel de toutes les énergies renouvelables. La géothermie est considérée comme étant une énergie sans émissions de CO₂ et donc propre. Elle n'entraîne pratiquement jamais une atteinte au paysage. Le prix de revient de la géothermie est considérée comme relativement bas comparée avec d'autres ressources énergétiques et on espère qu'elle contribue de façon substantielle au fu-

tur approvisionnement énergétique en Suisse. Selon les estimations actuelles, la géothermie devrait rester encore longtemps la seule technologie capable de fournir un prorata substantiel à la consommation énergétique totale dans des délais utiles et de fournir indépendamment des influences climatiques de l'énergie en ru-ban à grande échelle. Dans ce contexte, la géothermie (profonde) reste une source d'énergie de l'avenir et un rayon d'espoir pour la politique énergétique.

La géothermie nécessite plus de recherche et le projet GeORG constitue une pièce de puzzle.

Le projet d'utilisation de la géothermie profonde à Bâle a démontré que l'exploitation des grandes réserves énergétiques n'est pas du tout garantie. La technologie est encore en plein développement et les connaissances du sous-sol sont encore très limitées. A part des obstacles juridiques, administratifs et financiers, ces connaissances régionales et locales du sous-sol constituent la base qui permettra l'identification, la mise en valeur et l'exploitation durable des nouvelles installations. Pour cette raison, la recherche géothermique et la synthèse des connaissances du sous-sol sont très importantes. Voici le point de départ du projet GeORG. Il constitue la base pour toute étude de faisabilité dans les années à venir et il représente pour cette raison une pièce de puzzle important dans la perspective du Canton Bâle-Campagne.

Le projet „Speicherkataster“ - Base géologique en Bade-Wurtemberg

Wirsing, Dr. Gunther ¹⁾*, Fehn, Dr. Charlotte ¹⁾, Engesser, Dr. Wolfgang ¹⁾

¹⁾ *Regierungspräsidium Freiburg Abt. 9, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Freiburg, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br., Allemagne*

* *Interlocuteur | courriel: gunther.wirsing@rpf.bwl.de*

Introduction

Dans le cadre d'un projet intitulé „Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)“ les services géologiques régionaux ont établi selon des critères fédéraux et sous la coordination de l'Institut fédéral des géosciences et des ressources naturelles des cartes sur la qualité d'un complexe rocheux avec la garantie de l'étanchéité et de la sécurité d'un stockage. On entend par ce terme une unité géologique, délimitée latéralement et située dans un seul milieu sédimentaire. Au sein de cette structure existent des horizons géologiques appropriés pour le stockage et suffisamment recouvert par des couches étanches. Le but du projet est la saisie des zones de réservoirs potentiels en vue d'un stockage souterrain des gaz dans des aquifères salins¹.

Les roches dotées d'une porosité primaire et les roches dotées d'une porosité secondaire (fissures, karst, structure cavernueuse) sont des roches magasin, tandis que les séries argileuses et les évaporites avec une faible porosité sont considérées comme étanches.

Dans ce contexte, les grands bassins sédimentaires dans l'avant-pays alpin (Bassin molassique) et le Fossé rhénan sont particulièrement intéressants au Bade-Wurtemberg. Ces deux régions se distinguent nettement tant par leur évolution géologique que par leur tectonique et par leur lithologie.

Situation initiale

La saisie systématique et identique au niveau fédéral et la délimitation des régions avec des propriétés de stockage adéquate a été réalisée par les services géologiques régionaux et est basée sur des critères définis préalablement (profondeur et épaisseur minimale).

A cause de la multitude des différents des complexes rocheuses en question dans les deux régions étudiées, seules les données disponibles (p. ex. forages, cartes isopaches, banques de données hydrochimiques et hydrauliques et informations lithologiques) peuvent être utilisées.

Résultats

Pour représenter les potentiels géologiques définis selon les critères décrits ci-dessus, des cartes 1 :1.000.000 et des représentations cartographiques 1 :300.000 pour l'étendue, l'épaisseur et la profondeur des sites ont été levées.

La méthode cartographique appliquée et les données interprétées permettent une première représentation préliminaire du potentiel géologique des roches en profondeur dans les deux régions étudiées (Fossé rhénan et bassin molassique). Comme résultat, des cartes à petite échelle des régions mentionnées ont été levées. Les complexes susceptibles au stockage représentés dans ces cartes remplissent principalement les conditions requises en ce qui concerne la lithologie, la profondeur et l'épaisseur. Ils peuvent être pris en considération pour une future analyse.

Pour l'évaluation de ces complexes de stockage, une lithologie hétérogène à la fois horizontale et verticale constitue un facteur aggravant. Ceci est aussi valable pour une prévision de la continuité de la répartition spatiale, et surtout en considérant le cadre tectonique des régions étudiées. Le Fossé rhénan y est particulièrement touché et ces conditions délimitent ses qualités concernant le stockage permanent. Une interprétation différenciée doit s'appuyer sur des recherches avancées. Pour le Fossé rhénan, l'harmonisation et

¹ Le terme « aquifère salin » est ici employé comme synonyme pour une nappe salifère.

l'interprétation transfrontalière de la géologie profonde et la réalisation d'un modèle 3D constituent la base. Ceci est actuellement en cours de réalisation par des partenaires français, suisses et allemands et sous la coordination du Regierungspräsidium Freiburg, Service de Géologie, des Matières Premières et des Mines dans le cadre du programme Interreg «Geopotenziäle des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben / Potentiel géologique profond du Fossé rhénan – GeORG».

Prospection des potentiels géologiques profonds: Techniques, méthodes de travail, compilation des données et état du projet GeORG

Rupf, Isabel ^{1)*}, Anders, Dr. Birte ¹⁾, Nitsch, Dr. Edgar ¹⁾, Zumsprekel, Dr. Heiko ¹⁾, Beccaletto, Dr. Laurent ²⁾, Capar, Dr. Laure ²⁾, Kärcher, Dr. Thomas ³⁾, Tesch, Jörg ³⁾

¹⁾ *Regierungspräsidium Freiburg Abt. 9, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Freiburg, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br., Allemagne*

²⁾ *Bureau de Recherches Géologiques et Minières service GEO/GBS, 3 avenue claude guillemin BP36009, 45060 Orléans Cedex 2, France*

³⁾ *Landesamt für Geologie und Bergbau Mainz, Postfach 10 02 55, 55133 Mainz, Allemagne*

* *Interlocuteur | courriel: isabel.rupf@rpf.bwl.de*

Introduction

Le projet Européen GeORG (Potentiel géologique profond du Fossé rhénan) est financé par le projet Interreg IV A Rhin Supérieur depuis octobre 2008 et jusqu'au septembre 2011. Le but du projet est la compilation d'une banque de donnée transfrontalière qui permettra des déclarations sur les potentiels géologiques du sous-sol (p. ex. géothermie, eaux thermales et minérales, séquestration du CO₂ ou encore stockage d'air comprimé). En Suisse s'ajoute une compilation des informations sur la problématique de séismes anthropogènes. Un modèle digitale 3D de la géologie profonde et paramétré par des propriétés hydrogéologiques et géothermiques sert de base pour le projet. La région étudiée pour le projet et les limites des zones sont représentées dans la Fig. 1.

La zone interne du modèle s'étend du Nord au Sud sur une distance de 270 km. La largeur varie entre 40 et 50 km. Dans le cadre du projet, la zone externe de la région étudiée était soumise sans modélisation détaillé préalable à une recherche tectonique avancée.

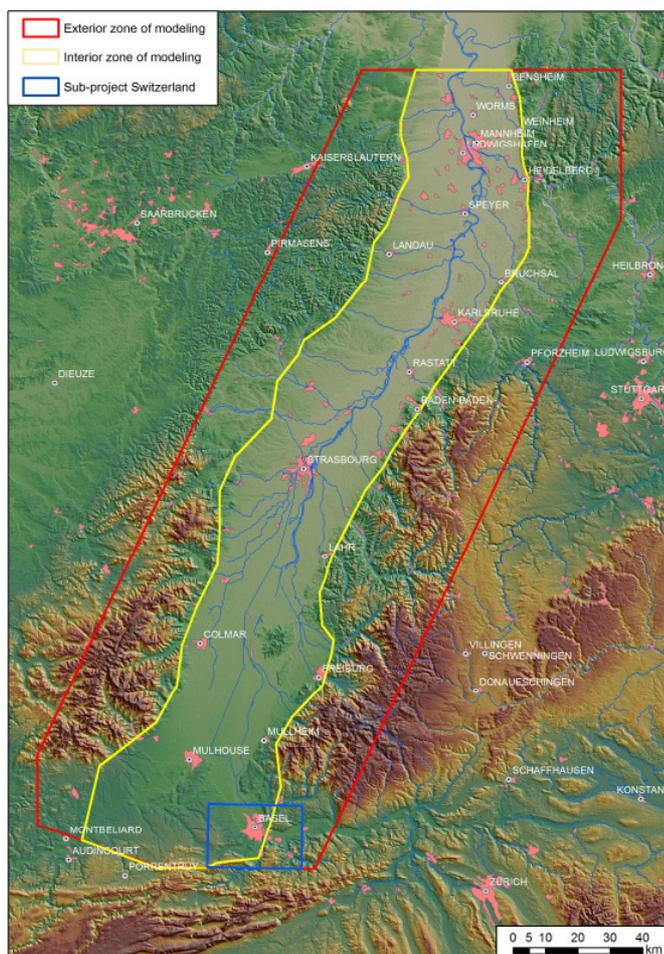


Fig. 1: Zones modèles du projet GeORG.

Le Fossé rhénan est un système de rift complexe et actif depuis l'Eocène. Son remplissage cénozoïque, composé d'une alternance de sédiments terrigènes et marins, peut atteindre une épaisseur jusqu'à 3000 m. Dans la région de Mulhouse, de la potasse s'est formée au Paléogène. A part un volcanisme local isolé, on observe une concentration de ce phénomène au Kaiserstuhl. Des roches mésozoïques et du Paléozoïque supérieur constituent la base du remplissage du fossé. Ils sont composés des grès et des calcaires de perméabilité différente et ils représentent également des potentiels géologiques importants. Le socle avec sa déformation hercynienne constitue le mur du modèle.

Le Fossé rhénan est tectoniquement fortement perturbé. Comme éléments majeurs, il faut mentionner les failles normales avec un rejet vertical allant au-delà d'un km, mais aussi des failles transversales avec des éléments transtensionnels et transpressifs. La représentation de cette structure complexe en combinaison avec le développement d'un modèle structural-génétique logique était un des défis majeurs du projet.

Base de données et harmonisation des données

Le projet utilise comme base les données suivantes:

- 2150 forages (descriptif lithologique, diagraphies géophysiques)
- 5400 km sismique réflexion (sections 2D, modèles de vitesse)
- base de données hydrogéologiques et géothermiques
- résultats des travaux antérieurs (cartes isopaches, coupes et profils, sections, et des modèles 3D pour des régions partielles, etc.)

La base de données provient pour une partie essentielle des archives de nos partenaires. D'autres informations, surtout des données sismiques, ont été mises à disposition par des compagnies pétrolières. Cependant, les données proviennent des sources différentes et ont un âge variable. Au cours des années, les interprétations géologiques ont souvent changées. Pour les raisons mentionnées, une harmonisation technique et au fond était nécessaire avant d'entamer d'autres étapes du projet.

A l'origine, les dates étaient référencées dans les coordonnées spécifiques du pays et il a fallu les convertir dans un système uniforme. Les paramètres hydrogéologiques et géothermiques ont été enregistrés jusqu'à présent également en unités et selon des méthodes différentes dans des banques de données locales. Les valeurs uniformisées sont mises à disposition à tous les partenaires du projet sur une plate-forme informatique centrale. Ceci était également le cas pour les lignes sismiques qui étaient référencées différemment et traitées selon des méthodes différentes. Après les avoir recalculé sur une base de données homogènes, les résultats sont devenus comparables et leur qualité a été améliorée (voir conférence BECCALETTO et al.).

Les dates principales des forages profonds (coordonnées, inclinaison de la verticale) ont été vérifiées au cours du projet et corrigées si nécessaire. La description lithographique des unités rencontrées dans le forage est soumise à des variations importantes en fonction de la date de la première description et des connaissances acquises à ce moment là. Mais il y avait aussi des différences en fonction de la personne en charge, et de la région et de façon plus générale concernant les unités du Tertiaire.

Dans le cadre du projet GeORG, en 2009, les représentants des services géologiques du Bade-Wurtemberg (LGRB), de la Rhénanie-Palatinat (LGB) et de la France (BRGM) ainsi que de l'université de Bâle s'étaient mis d'accord sur une nomenclature uniforme pour les unités stratigraphiques du Tertiaire dans le Fossé rhénan (Fig. 2). Point de départ des discussions étaient les propositions publiées de la sub-commission « Tertiaire » du DSK. Ces propositions étaient auparavant révisées et complétées par des données de forages et des lignes sismiques avant d'être adaptées à la systématique stratigraphique des services géologiques. Dans le cadre du projet et pour la première fois de façon transfrontalière, 12 formations ont été définies. Le descriptif de ces formations s'appuie sur les propriétés lithologiques décrites dans les rapports de sondage. Cette nouvelle subdivision permet des déclarations concernant l'épaisseur et la répartition des formations rocheuses avec des propriétés géotechniques et hydrogéologiques comparables.

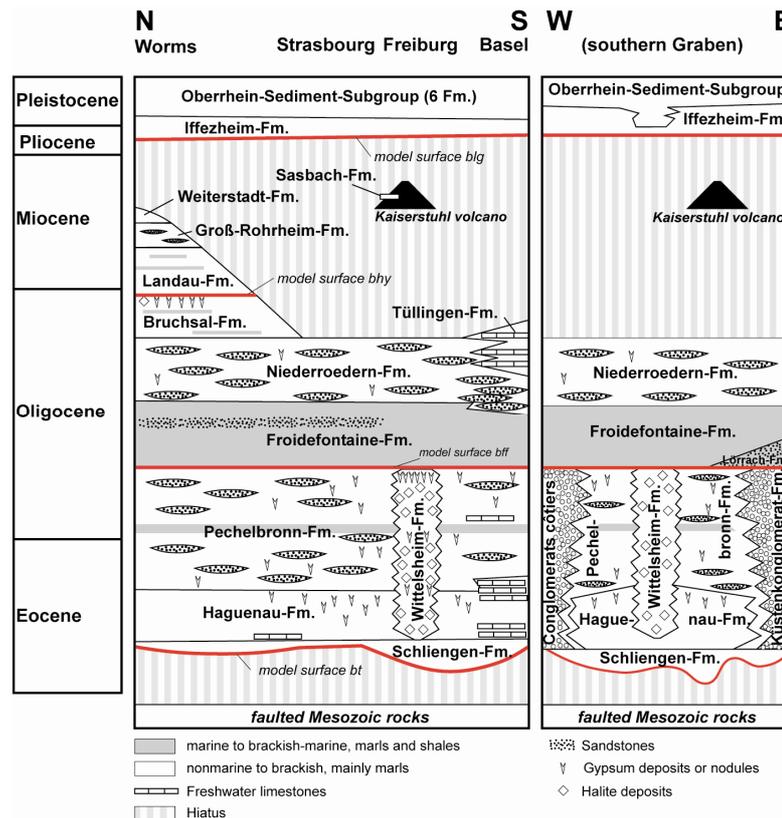


Fig. 2: Nomenclature GeORG harmonisée pour les sédiments tertiaires.

Interprétation sismique et modélisation 3D

L'interprétation sismique (voir BECCALETTO et al.) et la modélisation 3D se font avec les programmes SeisVision et Gocad. Les données de base sont hétérogènes suite à des méthodes de mesure différentes. Pour un modèle de vitesse, une représentation et une interprétation uniformes sont essentielles. Le modèle 3D est tout d'abord conçu dans le domaine du temps avant d'être converti plus tard en profondeur.

Dans la première partie de la modélisation, des éléments 2D comme des plans de failles géologiques, les surfaces de limites des formations, ou encore le remplissage des diapirs de sel et des vulcanites sont générées (voir Fig. 3). La modélisation de l'inventaire tectonique s'avère particulièrement compliquée : Dans une première étape, les failles marquées dans les profils sismiques sont transformées en surfaces lissées tout en respectant le sens de la direction, du pendage apparent et le rejet vertical. Parallèlement, la structure créée est soumise à un contrôle de plausibilité et comparée avec le cadre tectonique. C'est seulement après qu'on passe réellement à la modélisation d'un réseau de failles

Si les horizons sont bien reconnaissables dans les profils sismiques, la modélisation de ces plans de failles traitées se fait dans l'axe du temps. Si la résolution est moindre (p. ex. à cause de la profondeur de l'objet), les failles sont rajoutés à l'aide des informations supplémentaires telles que des niveaux marquer ou la répartition des épaisseurs. Ceci concerne surtout les unités mésozoïques.

Après la modélisation des surfaces, les éléments isolés sont transformés et combinés dans un modèle volumétrique. La résolution et la dimension de la zone modélisée nécessitent une subdivision en plusieurs modèles partiels avec des limites consistantes.

Après, la paramétrisation des volumes avec leurs propriétés hydrogéologiques et géothermiques et la dérivation des potentiels géologiques sont au centre d'intérêt.

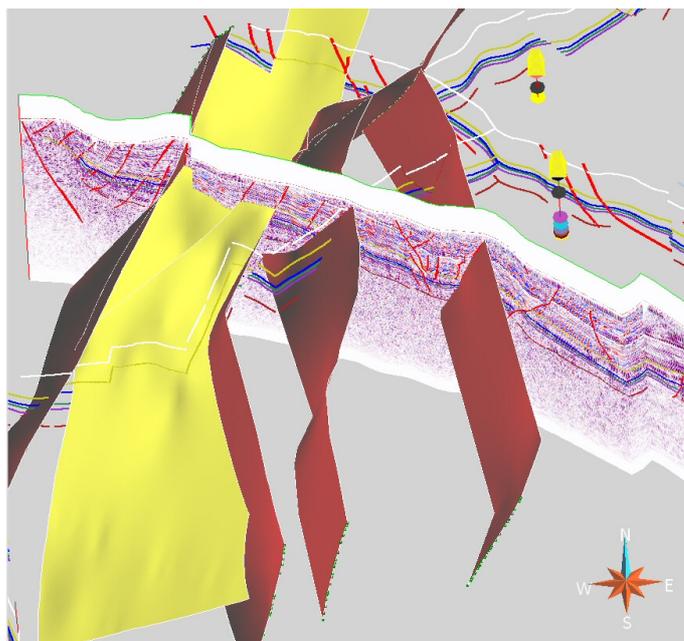


Fig. 3: Profil sismique avec failles et niveaux (lignes colorées), plans de failles (rouge), niveaux (jaune).

Produits

Produits de GeORG comprennent cartes, sections et coupes et des modèles 3D des secteurs pilote afin de évaluer les potentiels géologiques et les risques géologiques. Voici une liste non exhaustive:

- Cartes isopaches et coupes stratigraphiques
- Répartition des épaisseurs
- Répartition des faciès d'unités géologiques sélectionnées
- Répartition de la température dans certaines profondeurs
- Déclarations concernant la conductibilité thermique (Région pilote Landau – Karlsruhe - Soultz)
- Répartition et profondeur des complexes réservoirs et étanches pour la séquestration du CO₂ et le stockage de gaz
- Risques sismiques (modèle partiel en Suisse)
- Paramètres d'unités géologiques sélectionnées (propriétés hydrochimiques, perméabilité et porosité)

Pour les informations actuelles, veuillez consulter le site www.geopotenziiale.org.

Le projet GEORG: interprétation sismique, cadre structural et modélisation 3D – premiers résultats scientifiques

Beccaletto, Dr. Laurent ^{1)*}, Capar, Dr. Laure ¹⁾, Cruz-Mermy, Davy ²⁾, Oliviero, Gwennoilé ³⁾, Elsass, Philippe ⁴⁾, Perrin, Armelle ¹⁾, Rupf, Isabel ⁵⁾, Nitsch, Dr. Edgar ⁵⁾, Tesch, Jörg ⁶⁾

¹⁾ Bureau de Recherches Géologiques et Minières service GEO/GBS, 3 avenue Claude Guillemin BP36009, 45060 Orléans Cedex 2, France

²⁾ Bureau de Recherches Géologiques et Minières SGR Alsace, Parc Club des Tanneries, 15 rue du Tanin, BP 177 Lingolsheim, 67834 Tanneries Cedex, France

³⁾ EGID Bordeaux3, 1 allée Daguin 33607 Pessac, France

⁴⁾ GEODERIS, 1 rue Claude Chappe, 57070 Metz, France

⁵⁾ Regierungspräsidium Freiburg Abt. 9, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Freiburg, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br., Allemagne

⁶⁾ Landesamt für Geologie und Bergbau Mainz, Postfach 10 02 55, 55133 Mainz, Allemagne

* Interlocuteur | courriel: l.beccaletto@brgm.fr.

Le Fossé Rhénan Supérieur (FRS) est une zone à fort potentiel géologique, en relation avec de nombreuses applications d'actualité: géothermie profonde, séquestration du CO₂, hydrogéologie, ou encore les risques sismiques. Une utilisation optimale de ce potentiel nécessite donc d'avoir une connaissance détaillée de la structure profonde du FRS.

Le projet GeORG, financé par le fond européen INTERREG IV, se donne pour objectif de répondre à cette problématique. Il réunit des partenaires allemands, suisses et français dans le but de construire un modèle géologique 3D du FRS. 17 marqueurs géologiques seront ainsi modélisés, depuis le substratum varisque jusqu'à la surface topographique.

Les données d'entrée de ce modèle 3D, qui sera réalisé sous Gocad, sont principalement (1) les données sismiques retraitées et interprétées provenant de 5400 km de profils sismiques (3900 km du côté allemand et 1500 km du côté français), et (2) la description de plus de 1000 forages, principalement pétroliers et miniers.

Une part importante du travail à donc consisté à retraiter avec des moyens modernes d'anciennes lignes sismiques, acquises par les compagnies pétrolières ces dernières décennies. Ces lignes sismiques interprétées représenteront l'ossature du modèle 3D. L'utilisation de moyens modernes de retraitement, appliqués à des lignes anciennes, améliore sensiblement la qualité de la section sismique retraitée. Ce qui facilite l'interprétation des structures géologiques; comparées aux lignes traitées avec les moyens d'origine, les lignes retraitées montrent notamment (1) une meilleure continuité et résolution des horizons ou groupes d'horizons, et (2) une meilleure définition des failles et des zones faillées. Nous illustrerons donc les séquences de traitement utilisées pour les lignes allemandes et françaises, caractérisées au départ par des formats sismiques différents.

Les intérêts scientifiques d'un tel projet sont nombreux, en particulier ceux concernant le cadre structural du FRS. Nous présenterons donc les premiers résultats de notre travail, dont les premières interprétations sismiques et quelques exemples du modèle 3D. Nous mettrons tout d'abord l'accent sur l'inventaire des structures observées (failles bordières, failles normales et décrochantes, dômes de sel, chevauchement du Jura), et leur relation avec l'évolution structurale du FRS. Nous montrerons ensuite le rôle déterminant du régime tectonique décrochant NNE-SSO dans la géométrie 3D actuelle du FRS; ce régime décrochant, caractérisé par le développement de failles transtensives et de structures en fleurs négatives, tend à masquer la morphologie originale des failles normales actives lors de la phase initiale de rifting du FRS. Ces failles plus récentes donnent donc une image distordue du rift pré-Miocène. Nous discuterons aussi du rôle de l'héritage structural varisque dans la géométrie actuelle du FRS. Nous montrerons enfin quelques exemples de représentation en 3D d'une sélection des structures décrites ci-avant.

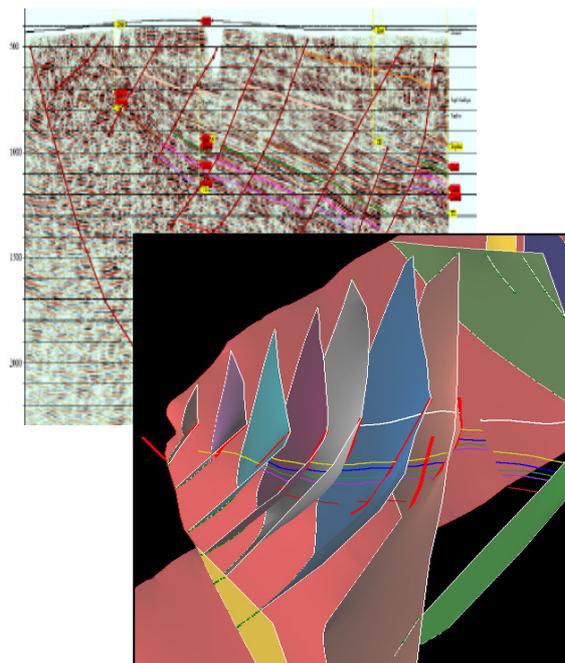


Fig. 1: Exemple de failles normales vues en 2D (profil sismique) et en 3D (modèle Gocad).

Modèle géologique 3D de la région de Bâle – un outil pour explorer les géopotentiels

Dresmann, Dr. Horst ^{1)*}, Huggenberger, Prof. Dr. Peter ¹⁾, Epting, Jannis

¹⁾ *Angewandte und Umweltgeologie (AUG), Institut für Geologie und Paläontologie, Bernoullistrasse 32, CH-4056 Basel, Suisse*

* *Interlocuteur | courriel: Horst.Dresmann@unibas.ch*

L'intérêt croissant porté à l'utilisation des géopotentiels du sous-sol tout comme à l'énergie géothermique, aux nappes souterraines ou bien au stockage potentiel de gaz dans le sous-sol (par exemple le CO₂) nécessite des concepts de prospection et de planification ainsi qu'un cadre directeur. De nos jours, le principe du « premier arrivé, premier servi » ne devrait pas être de mise.

Particulièrement dans les régions densément peuplées comme Bâle, des connaissances approfondies du sous-sol relèvent d'une grande importance pour la gestion des nappes souterraines, la remédiation de sites pollués, la construction d'infrastructures routières ou bien l'évaluation de l'aléa sismique.

Bien que l'activité sismique en Suisse soit modérée, de grands séismes ont secoué le pays ces derniers siècles. Afin de minimiser les dommages potentiels dans la région de Bâle, le service sismologique suisse (SSS) en coopération avec le groupe de travail de géologie appliquée et environnementale (AUG) ont établi une carte quantitative de microzonage sismique (2006), combinant des informations géologiques et sismologiques. Ce microzonage est basé sur un modèle géologique 3D de la région de Bâle et peut servir à l'évaluation des aspects statiques dans le domaine du génie civil. Il est accessible en tant que produit publique SIG sur le géoportail des cantons de Bâle-Ville et Bâle-Campagne. Dans le cadre d'un développement ultérieur de l'évaluation du risque sismique, le calcul en temps réel de cartes de sismicité est prévu. Après un tremblement de terre, de telles cartes pourraient, entre autres, améliorer la coordination entre les services de protection et de secours. Des informations détaillées concernant la tectonique profonde de la région de Bâle sont donc pour cela nécessaire.

Généralement, les données géologiques sont de peu d'utilité tant qu'elles ne sont pas systématiquement organisées dans des bases de données géologiques. Les techniques modernes de modélisation géologique en trois dimensions sont des outils très performants qui permettent la visualisation de données géologiques et fournissent ainsi des informations pertinentes pour une planification et une gestion moderne des ressources. Ces outils peuvent être continuellement mis à jour et adaptés (échelle et résolution) aux besoins de diverses problématiques. À l'échelle régionale, d'importants efforts pour le développement de tels outils ont débouché sur un projet transfrontalier INTERREG.

L'objectif principal du projet INTERREG IV « GeORG » dans la région de Bâle est le développement d'un modèle 3D détaillé et flexible (Fig. 1). Ainsi, le modèle existant de Bâle (ZECHNER et al. 2001) a été révisé, affiné et agrandi (superficie de 20×30 km et profondeur de 6 km). Pour cela 9000 forages, 15 lignes de réflexion sismique ainsi que des modèles numériques d'élévation de haute résolution ont été intégrés au modèle. En plus des cartes géologiques de France (1:50.000), d'Allemagne (1:25.000) et de Suisse (1:25.000 et 1:100.000), les conclusions de rapports géologiques ainsi que de publications scientifiques ont été pris en considération. Ce projet se concentre sur 14 horizons géologiques importants ainsi que sur toutes les structures tectoniques pertinentes.

Les horizons géologiques concernés sont les suivants :

- base Pliocène
- base couche à Melettes
- base Marnes à Foraminifères
- base Tertiaire
- base Rauracien
- top Grande Oolithe
- base Marnes à Pleydellia aalensis
- base Hettangien
- base Lettenkohle

- top Muschelkalk moyen évaporitique
- base Muschelkalk
- base Conglomérat Inférieur de Grès Vosgien
- (base Grès de Annweiler)
- top cristalline socle

Un tel modèle nécessite une gestion des données précise et avancée afin de pouvoir être facilement adapté à de nouvelles problématiques. C'est pourquoi un concept en trois étapes a été mis en place. 1) De nombreuses données (forages et rapport) sont gérées manuellement dans les archives des deux cantons, 2) les données des forages, incluant la profondeur des horizons, sont sauvegardés dans une base de données, 3) les métadonnées des forages, les cartes et les surfaces modélisées sont sauvegardés dans des projets SIG. Ces derniers sont directement connectés avec la base de données des forages de sorte qu'ils peuvent immédiatement intégrer de nouvelles données. De plus, il est prévu de classifier l'influence de nouvelles données sur les surfaces modélisées existantes.

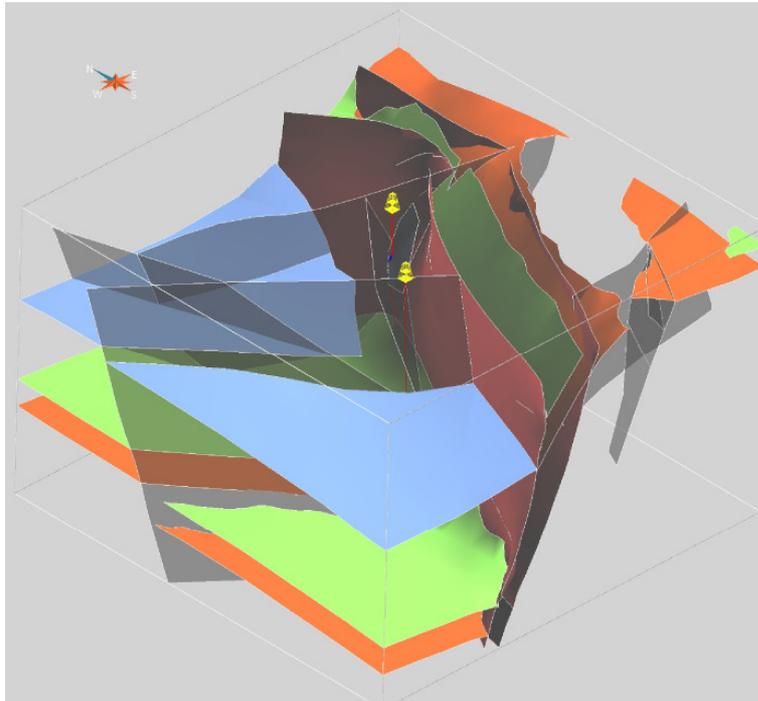


Fig. 1: Extrait d'un des modèles géologiques 3D de la région de Bâle (Dimensions de l'extrait : 4x4 km, profondeur env. 2 km).

Littérature

ZECHNER, E., KIND, F., FÄH, D. & HUGGENBERGER, P. (2001): A 3D Geologic Model of the Southeastern Rhine-graben compiled on existing geologic data and geophysical reference modelling. - 2nd EUCOR-URGENT Annual Workshop 2001, Abstract volume.

Quantitative de microzonage sismique:

- <http://www.geo.bs.ch/erdbebenmikrozonierung>
- <http://www.geo.bl.ch/>

Analyse tridimensionnelle du Bassin de Heidelberg, Rhin Supérieur

Tanner, Dr. David C. ¹⁾*, Martini, Nicole ¹⁾, Buness, Dr. Hermann ¹⁾, Gabriel, Dr. Gerald ¹⁾, Krawczyk, Prof. Dr. Charlotte M. ¹⁾

¹⁾ Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Stilleweg 2, D-30655 Hannover, Allemagne

* Interlocuteur | courriel: DavidColin.Tanner@liag-hannover.de

Le bassin de Heidelberg est situé dans le Graben du Rhin supérieur qui a subi une très forte subsidence durant sa formation. Nous présentons les résultats d'une analyse structurale en trois dimensions du bassin basée sur l'interprétation de sismique réflexion, ainsi que la décompaction réalisée avec nos propres données de porosité mesurées sur des carottes. Dans un premier temps, nous avons cartographié six horizons à l'aide de tous les profils de sismique réflexion disponibles auprès des industries pétrolières (100 km) ainsi que ceux que nous avons nous-mêmes réalisés (15 km). Ceux-ci sont tous situés dans un rayon de 8 km autour des forages Heidelberg UniNord 1/2. Les horizons sont: base du Quaternaire, Pliocène interne, base du Pliocène, base du Miocène supérieur, Miocène moyen à Hydrobies interne et base du Miocène moyen à Hydrobies. Ces données ont été utilisées pour construire un modèle géométrique en trois dimensions du bassin de Heidelberg (HB) avec le programme GoCAD (voir figure). Le modèle montre une extension régionale N-S et E-W du HB local de seulement 10 x 6 km, en contact direct avec la bordure est de la faille du Graben du Rhin supérieur.

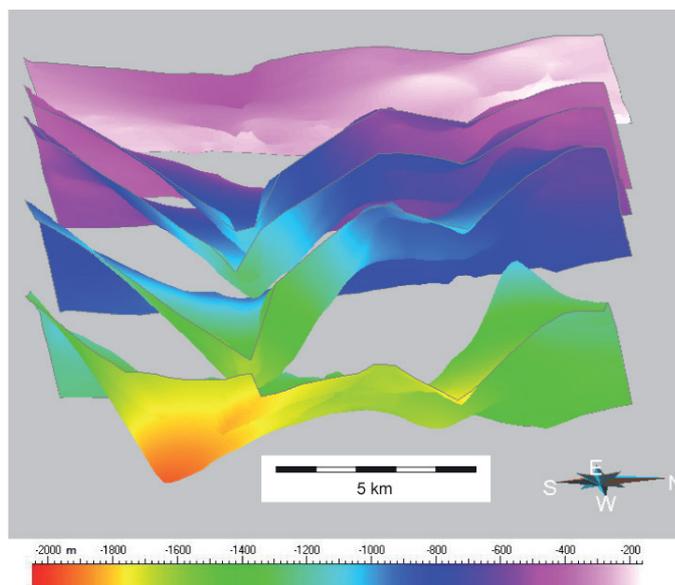


Fig. 1: Vue est du modèle GOCAD du bassin de Heidelberg. Surfaces colorées selon leur profondeur, voir texte pour leur noms, exagération verticale x10. Notez le mouvement des dépocentres vers le nord avec le temps.

La plus forte subsidence tectonique s'est produite durant le Miocène supérieur, le Pliocène supérieur et le Quaternaire. Aucune faille n'est visible dans le bassin à cette profondeur. Nous avons déterminé la porosité des sédiments quaternaires à partir de leurs masses sèche, saturée et immergée. Il découle pour ces roches une relation exponentielle porosité- profondeur. Celui-ci a ensuite été décompacté en 3D. Les résultats montrent que le bassin a subi une subsidence continue avec un taux de subsidence légèrement moindre durant le Miocène supérieur, mais plus élevé du Pliocène jusqu'à nos jours. Ainsi, on peut dire que la subsidence du bassin s'accélère. Au dépocentre du bassin le taux de subsidence le plus bas était de 0,1 mm a-1 alors qu'il a augmenté jusqu'à 0,2 mm a-1 au Quaternaire. Les valeurs pour le Graben du Rhin à l'extérieur du HB sont environ de 30-50% inférieures.

Modélisation géologique 3D, deux exemples d'application dans le Fossé Rhénan: le secteur de Strasbourg-Obernai et le site de géothermie profonde de Soultz-sous-Forêts

Dezayes, Dr. Chrystel ¹⁾*, Baillieux, Paul ²⁾, Heilbronn, Gloria ¹⁾, Thinon, Dr. Isabelle ¹⁾, Courrioux, Gabriel ¹⁾, Calcagno, Dr. Philippe ¹⁾

¹⁾ Bureau de Recherches Géologiques et Minières service, 3 avenue Claude Guillemin BP36009, 45060 Orléans Cedex 2, France

²⁾ Laboratoire Suisse de Géothermie, Neuchâtel University, Rue Emile Argand 11, CP 158, CH-2009 Neuchâtel, Suisse

* Interlocuteur | courriel: c.dezayes@brgm.fr

Ce papier présente deux modèles géologiques 3D d'une partie du Fossé Rhénan. Le premier modèle est localisé entre Strasbourg et Obernai, au niveau de la partie centrale du fossé (Fig. 1). Le second modèle inclut le site de géothermie EGS (Enhanced Geothermal System) de Soultz-sous-Forêts dans le nord de la partie française du Fossé Rhénan (Fig. 1).

La construction du modèle géologique dans le secteur de Strasbourg et Obernai avait comme objectif d'estimer le potentiel géothermique du réservoir gréseux du Buntsandstein (Trias inférieur). Afin de réaliser ce calcul de potentiel, la valeur du volume du réservoir est indispensable et l'une des meilleures façons de l'estimer est de réaliser un modèle géologique 3D de cette couche.

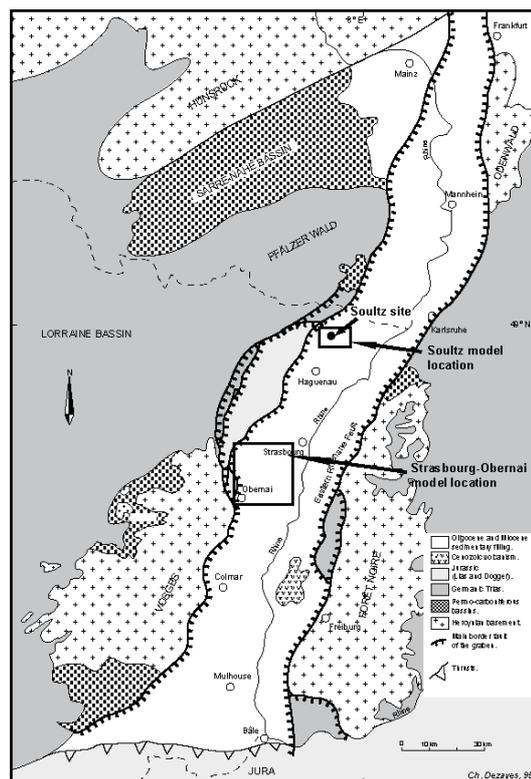


Fig. 1: Carte géologique simplifiée du Fossé Rhénan et localisation des modèles 3D.

Quant au projet EGS de Soultz, il a pour but d'évaluer la potentialité d'exploiter la chaleur du socle granitique fracturé profond du Fossé Rhénan. Dans ce cadre, nous avons réalisé un modèle 3D du secteur élargi autour de Soultz afin d'améliorer la connaissance du réseau de faille cartographique. Ceci constitue un élément indispensable pour comprendre la circulation des fluides et améliorer l'exploration géothermique du secteur de Soultz.

La construction des modèles géologiques 3D est basée sur deux principaux types de données : (1) l'interprétation des profils sismiques et (2) les données de forage. Les profils sismiques ont été acquis en Al-

sace dans les années 70-80 pour l'exploration pétrolière et sont retraités dans le cadre de différents projet tel que GeORG (voir conférence BECCALETTO et al.), lors de l'exploration géothermique du projet Roquette, ou l'estimation du potentiel géothermique du réservoir gréseux du Buntsandstein (CLASTIQ, projet ADEME-BRGM).

Afin de réaliser la construction des modèles 3D, nous avons utilisé le logiciel Geomodeller développé par le BRGM et qui permet de faire une modélisation géométrique basée sur la méthode des champs de potentiels pour l'interpolation des données (LAJAUNIE et al. 1997). Afin de calculer le modèle, le logiciel utilise comme données d'entrée des points de localisation, des données d'orientation et une pile géologique qui définit la chronologie a priori des formations géologiques et leur relation entre elles.

Le réseau de failles a été réalisé à partir des traces de failles interprétées sur chaque profil sismique. Chaque trace de faille est ensuite reliée d'une section à l'autre en prenant en compte principalement les pendages et les rejets qui sont similaires. Afin d'établir des associations entre les différentes structures tectoniques, le Géomodeller utilise un outil qui permet de lier les failles entre elles. La modélisation permet ensuite de représenter les traces de faille sur toutes les sections et en 3D. Si les corrélations ne sont pas satisfaisantes, il est alors possible de modifier l'interprétation en faisant varier les différents paramètres tels que les données d'orientation, les relations entre les failles, etc. ...

Le modèle de Strasbourg-Obernai montre un réseau de failles d'orientation NNE-SSW (Fig. 2). Dans la partie sud-est du modèle, le socle se situe à environ 2000m de profondeur, tandis qu'au nord du modèle, le socle se situe entre 3400m et 4000m de profondeur.

Une importante faille recoupe le modèle et possède un rejet normal de plus de 1000m. Cette faille est associée, au sud-est du modèle, à une autre importante faille de rejet d'environ 1000m, formant ainsi une structure de graben de direction NE-SW. Dans la partie interne du graben, la profondeur du toit du socle atteint 3800m. (Fig. 2).

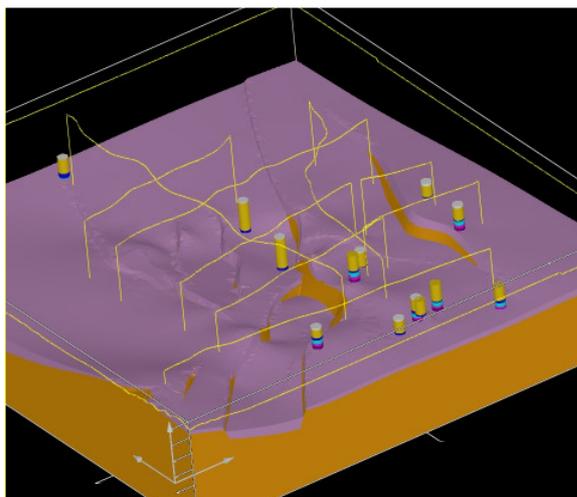


Fig. 2: Vue vers le NE du modèle de Strasbourg-Obernai. Violet : réservoir du Buntsandstein, orange : socle cristallin. Les cylindres représentent les forages (30km le long de l'axe E-W et 32 km le long de l'axe N-S).

Le modèle de Soultz comporte 26 failles construites dans le modèle de dimension 30x20x6km. La famille de failles principale possède une direction NNE-SSW (c.-à.-d. correspondante à la direction rhénane) principalement inclinée vers l'est, tandis que la faille secondaire et les failles antithétiques ont une direction N-S à NNW-SSE, avec une inclinaison moyenne de 60°.

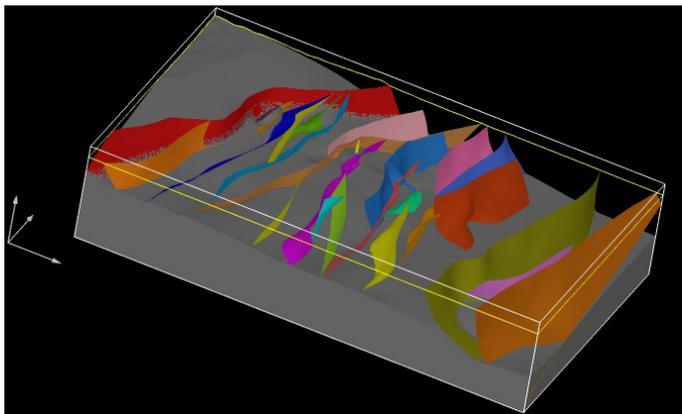


Fig. 3: Vue vers le NW du modèle de Soutz. Gris : socle cristallin. Les cylindres jaunes représentent les forages de Soutz.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ADEME, qui a financé en partie ce travail avec le BRGM (projets CLASTIQ et EGS3D). Nous remercions également ES Géothermie pour la mise à disposition de données du projet Roquette.

Littérature

LAJAUNIE C., COURRIOUX G. AND MANUEL L. (1997): Foliation fields and 3D cartography in geology: principles of a method based on potential interpolation. - *Mathematical Geology*, 29(4):571–584.

Modèle 3D des potentiels géologiques profonde en Hesse

Kracht, Dr. Matthias ¹⁾*, Fritsche, Dr. Johann-Gerhard ¹⁾, Arndt, Dirk ²⁾, Bär, Kristian ²⁾, Hoppe, Prof. Dr. Andreas ²⁾, Sass, Prof. Dr. Ingo ²⁾

¹⁾ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Rheingastr. 186, 65201 Wiesbaden, Allemagne

²⁾ Technische Universität Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Schnittspahnstr. 9, D-64287 Darmstadt, Allemagne

* Interlocuteur |courriel: Matthias.Kracht@hlug.hessen.de

Introduction

Dans le cadre du projet de recherche « 3D-Modellierung der tiefergeothermischen Potenziale von Hessen » [Modélisations 3D des potentiels de la géothermie profonde en Hesse] le potentiel géothermique pour le territoire hessois est quantifié pour des utilisations directes ou indirectes, soumis à une évaluation qualitative et représenté dans une carte et en 3D. Ce projet est financé par le Ministère Hessois de l'Environnement, Energie, Agriculture et Protection des consommateurs. La représentation ainsi obtenue de la répartition de potentiels réalise une décision du Parlement de Hesse demandant une évaluation des potentiels géothermique en Hesse (FRITSCHÉ & KRACHT, 2010). Le résultat du projet est considéré comme base pour des études préliminaires et des études locales de faisabilité des projets concrets. Celles-ci permettront la sélection des sites pour une exploitation économique de la géothermie profonde, une information du publique et des décideurs politiques.

Modèle géologique

Des coupes géologiques, des cartes géologiques hessoises GK 25 et GK 200, des coupes sismiques et des cartes isopaches de la littérature ainsi que des modèles existants des certains secteurs ont été utilisées comme données d'entrée. Au-delà, toutes des données disponibles et accessibles au service géologique (HLUG), ainsi que la base de données des forages d'exploration d'hydrocarbures ont été prises en compte. L'Université technique de Darmstadt a réalisé quelques programmes pour simplifier le traitement de données et le grand nombre des étapes de travail répétitives (ARNDT et al., 2010).

Le modèle structurelle et géologique 3D de Hesse (Fig. 1) fournit la géométrie spatiale des unités stratigraphiques et des failles sélectionnées. Toutes les valeurs de températures du sous-sol ont été intégrées dans le modèle et utilisées pour un calcul de la répartition de la température du sous-sol. Les corps géologiques homogènes du modèle ont été labellisés non seulement avec des températures, mais aussi avec d'autres paramètres de propriétés physiques des roches. La combinaison spatiale de tous ces paramètres avec la géométrie du modèle géologique et le champ de contraintes de Hesse extrait de la World Stress Map permettent une vision 3D des potentiels géologiques.

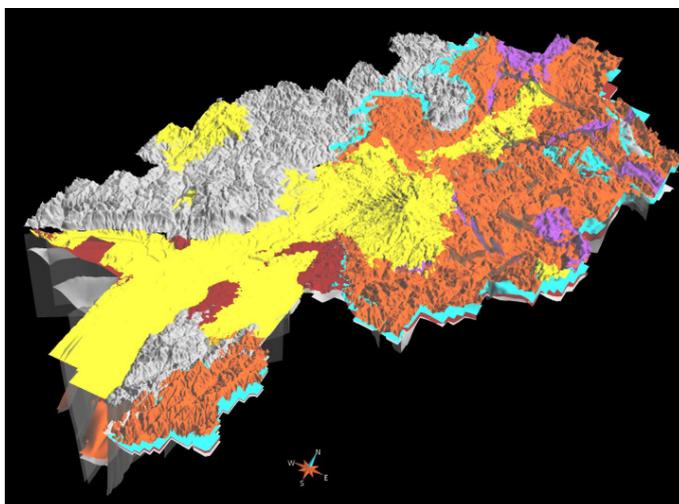


Fig. 1: Modèle géologique 3D de Hesse. Perspective depuis le Sud-est avec les limites supérieures du Quaternaire et Tertiaire (jaune), Muschelkalk (violet), Buntsandstein (orange), Zechstein (bleu clair), Rotliegend (rouge), Antépermien (gris) (ARNDT et al., 2010).

Modèle géothermique

La quantification et l'évaluation qualitative du potentiel se fait pour les utilisations différentes de la géothermie (hydrothermal, pétrothermal, en rapport avec les failles, sondes géothermiques verticales SGV). Au vue d'une approche avec des critères multiples, chacun des paramètres est considéré selon son importance (et d'après des critères du GeotIS) pour chacune des utilisations. Comme base, des valeurs limite ont été fixées comme référence pour tous les paramètres mentionnés. Ceci permet un classement en potentiel « très élevé » (rouge), « élevé » (jaune), « moyen » (vert clair), « faible » (vert foncé) et « très faible » (turquoise).

	Grade of Permeability (DIN 18130)	Permeability [m ²] / [m/s]	Transmissibility* [m ²] Transmissivity* [m ² /s]	Potential
	Extremely high	> 1·10 ⁻⁹ / 1·10 ⁻²	> 5·10 ⁻⁸ / 5·10 ⁻¹	Very high
	Very high	> 1·10 ⁻¹¹ / 1·10 ⁻⁴	> 5·10 ⁻¹⁰ / 5·10 ⁻³	high
	medium	> 1·10 ⁻¹³ / 1·10 ⁻⁶	> 5·10 ⁻¹² / 5·10 ⁻⁵	medium
	low	> 1·10 ⁻¹⁵ / 1·10 ⁻⁸	> 5·10 ⁻¹⁴ / 5·10 ⁻⁷	low
	Very low	< 1·10 ⁻¹⁵ / 1·10 ⁻⁸	< 5·10 ⁻¹⁴ / 5·10 ⁻⁷	Very low

* With presumed hydraulic effective thickness of 50 m

Fig. 2: Valeurs limite des paramètres géothermiques utilisées pour l'évaluation du potentiel. Chaque niveau est doté d'une couleur différente pour faciliter la représentation (BÄR et al., 2010).

La température dans une profondeur donnée détermine l'utilisation géothermique de l'unité géologique rencontrée. A partir d'une température de la formation dépassant 60 °C un chauffage géothermique est possible. A partir de 100 °C (limite technique) respectivement 120 °C (limite économique) une production d'électricité géothermique devient possible. Les propriétés hydrauliques du réservoir sont un autre facteur déterminant : Seulement des perméabilités ou des porosités indiquées dans la fig. 2 comme « moyen » ou « élevé » permettent une utilisation hydrothermale sans stimulation supplémentaire – à condition tout de fois que la formation géologique ait une épaisseur suffisante. Ainsi, le Rotliegend dans la partie septentrional du Fossé rhénan supérieur a un potentiel moyen à élevé à cause de la température de la formation, ses propriétés hydrauliques et thermophysiques et de son système de fissures et de failles. Par conséquent, cette formation géologique se prête à la production d'électricité hydrothermale (SASS et al., 2010). Pour la représentation 2D, le modèle de température existant ne tient pas compte ni du contexte géologique ni du parcours des eaux chaudes ascendantes. Pour cette raison, les isothermes ont été interprétées et adaptées dans la coupe géologique / géothermique (Fig. 3). La profondeur des isothermes et les propriétés géothermiques permettent selon le schéma d'évaluation présenté d'attribuer à chaque unité géologique un potentiel de géothermie profonde.

Comme exemple, le potentiel hydrothermal de la partie septentrionale du Fossé rhénan supérieur est représenté dans la Fig. 3. Le résultat est clair : Le Rotliegend est une formation géologique avec un potentiel moyen à élevé pour la production d'énergie hydrothermale.

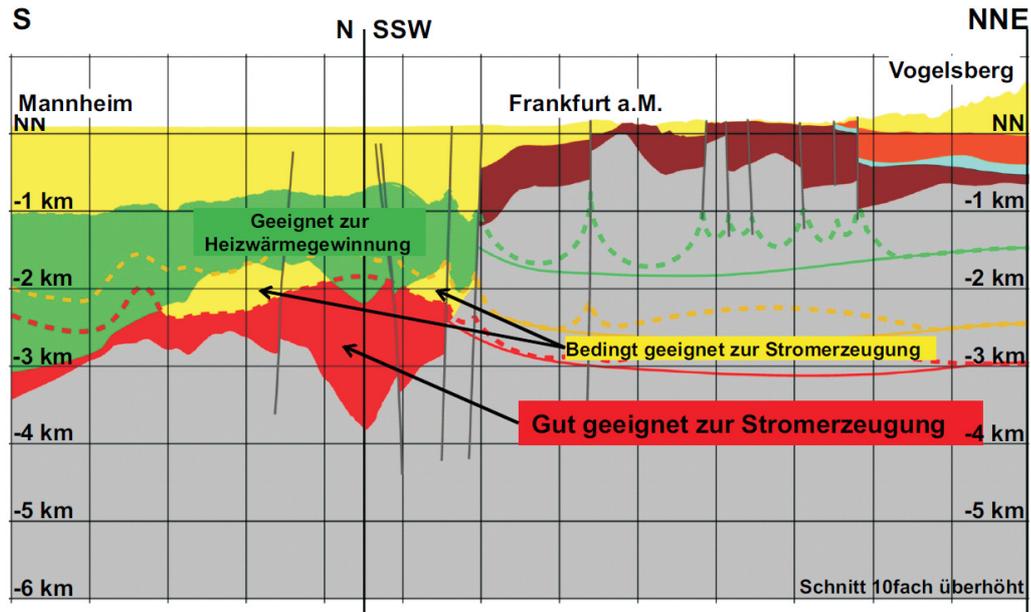


Fig. 3: Evaluation du potentiel de la géothermie profonde pour l'utilisation hydrothermale entre Mannheim et la Montagne de Vogelsberg avec les isothermes du modèle de température (lignes continues) et leur interprétation et adaptation à la géologie et aux systèmes de failles (en tirets) (SASS et al., 2010).

Perspectives

Le projet sera terminé fin juin 2011. A ce moment existera une représentation qualitative et quantitative 3D du potentiel des utilisations géothermiques mentionnées jusqu'à une profondeur de 6 km et pour tout le territoire de Hesse. Il est prévu de publier ce résultat dans un système de Map Viewer respectivement permettre une vision 3D avec des programmes adaptés (p. ex. Adobe Reader, Geocando).

Littérature

ARNDT, D., BÄR, K., HOPPE, A. & SASS, I. (2010): Geologische Strukturmodellierung von Hessen zur Bestimmung des geothermischen Potenzials. – Kurzfassung, GeoDarmstadt 2010, SDGG, Heft 68; Hannover.

BÄR, K., ARNDT, D., FRITSCH, J.-G., GÖTZ, A. E., HEGGEMANN, H., HOPPE, A., HOSELMANN, C., KRACHT, M., KÖTT, A., LIEDMANN, W., SASS, I. & STÄRK, A. (2010): Konzept zur Quantifizierung des tiefegeothermischen Potenzials von Hessen am Beispiel des nördlichen Oberrheingraben. – Kurzfassung, GeoDarmstadt 2010, SDGG, Heft 68; Hannover.

FRITSCH, J.-G. & KRACHT, M. (2010): Tiefe Geothermie in Hessen: Überblick zum derzeitigen Stand und zu Nutzungskonflikten. – Kurzfassung, Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG (FH-DGG), SDGG, Heft 67, Hannover.

SASS, I., BÄR, K., ARNDT, D., FRITSCH, H.-G., GÖTZ, A.E., HEGGEMANN, H., HOPPE, A., HOSELMANN, C., KRACHT, M., KÖTT, A., LIEDMANN, W. & STÄRK, A. (2010): Stand des 3D-Modells der geothermischen Tiefenpotenziale in Hessen. Standortbezogene Potenzialausweisung anhand virtueller Bohrungen und Schnitte. Vortrag auf dem 5. Tiefegeothermieforum Hessen am 15.09.2010, Darmstadt (<http://www.hessenenergie.de/Downloads/DI-Nach/dln-tgf/tgf-10/tgf-10.shtml>).

Caractérisation géothermique des réservoirs et modélisation – méthodes et stratégies pour obtenir les propriétés thermiques pour l’amélioration des paramètres initiaux de la modélisation

Pechnig*, Dr. Renate^{1)*}, Mottaghy, Dr. Darius¹⁾

¹⁾ Geophysica Beratungsgesellschaft mbH, Lütticherstr. 32, 52064 Aachen, Allemagne
 * Interlocuteur | courriel: r.pechnig@geophysica.de

Réductions des risques grâce à des modélisations

Les simulations numériques sont devenues un outil important pour l’exploration et exploitation économique des réservoirs géologiques, car elles permettent un pronostique de l’évolution du gisement dans le temps. Mais les modélisations géothermiques donnent des informations fiables concernant la température et le taux de production seulement en cas de caractérisation représentative de la géométrie et des paramètres du modèle. Pour la compilation d’un modèle géothermique (Fig. 1), il est essentiel d’intégrer le plus d’informations des campagnes sismiques, des données géologiques et hydrologiques et les forages existants. Sur la base d’un modèle structurel géologique avec la meilleure résolution géométrique possible on crée un modèle numérique. En cas de paramètres initiaux appropriés et avec une calibration soigneuse, ce modèle peut servir comme pronostique pour l’état thermique / hydraulique actuel ainsi que pour son évolution future. Ces pronostiques constituent la base pour la planification et la réalisation d’un projet. Si les connaissances s’approfondissent en cours de projet, ces informations peuvent être intégrées dans le modèle existant qui verra alors sa précision optimisée graduellement. Ce procédé lors de la compilation d’un tel modèle est montré à l’exemple du projet géothermique « La Haye ». Il est prévu de chauffer 6000 ménages à l’aide d’un doublet géothermique dans une profondeur de 2500 m. Lors de la planification, les modèles géothermiques étaient importants pour un pronostique amélioré de la température dans la formation ciblée.

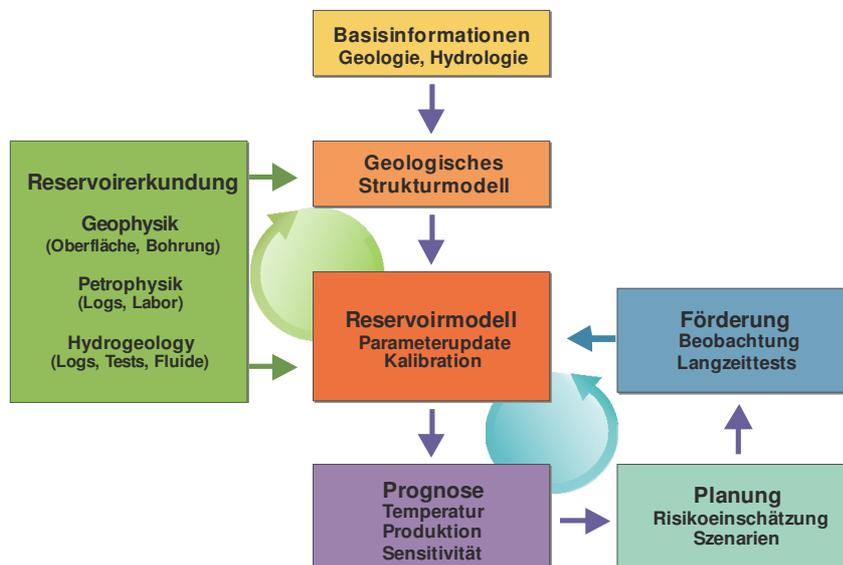


Fig. 1: Diagramme pour la compilation d’un modèle numérique et sa mise à jour progressive au cours d’un projet géothermique.

Caractérisation thermique du modèle

Un pronostique fiable de température pour une profondeur définie nécessite des nombreux paramètres – avant tout une connaissance flux de chaleur, de la conductibilité effective et de la production de chaleur dans la formation géologique ciblée. Nous avons développé des méthodes pour dériver des informations représentatives pour les propriétés thermiques à partir des données de forages existantes. Grâce à l’interprétation des mesures géophysiques en combinaison avec des analyses de laboratoire complémentaires sur des cuttings et des carottes de forage il est possible de définir des paramètres initiaux statistiquement assurés pour la série stratigraphique entière. Ceci est illustré par un forage de référence dans la zone du projet « La Haye ».

Afin d'obtenir des renseignements sur les propriétés thermiques du sous-sol, des échantillons de tous les niveaux stratigraphiques du modèle étudié ont été analysés jusqu'à une profondeur de 5 km. Des carottes n'étaient disponible que des certains niveaux. Pour cette raison, les analyses ont été menées sur les cuttings. Pendant ce procédé, les mesures de laboratoire ont été calibrées avec les résultats des diagraphies pour obtenir les paramètres initiaux des propriétés thermiques des couches du modèle 3D. En tout, les données digitales de diagraphies de 11 forages ont été analysées. Les diagraphies ont permis de calculer les propriétés volumétriques et la porosité des roches. Ces résultat ont donné la possibilité de générer des profils de conductivité qu'on a comparé avec les forages de références calibrés des analyses de laboratoire (Fig. 2). Au-delà, les diagraphies gamma ray ont permis d'établir des profils de production de chaleur radiogène. Les profils déduits des diagraphies permettent deux conclusions : Premièrement, la variabilité de la conductivité est plus facile à cerner statistiquement dans un niveau stratigraphique par rapport aux cuttings. Deuxièmement, les résultats permettent un meilleur enregistrement spatial des variations lithologiques latérales au sein d'une même unité stratigraphique.

Compilation des modèles 3D numériques

Sur la base du modèle géologique du sous-sol mis à disposition par TNO Netherlands et les paramètres initiaux déterminés, un modèle géothermique 3D avec les dimensions (22.5 x 24.3 x 5 km) et un modèle plus petit pour le réservoir dans le niveau stratigraphique ciblé ont été développés. Pour cette réalisation, le SHEMAT (Simulator for Heat and Mass Transport ; Clauser 2003) a été utilisé.

Le but du modèle plus vaste était un pronostique de la répartition stationnaire de la température dans la zone étudiée. Le modèle est basé sur neuf unités, dont la limite inférieure a été déterminée par des investigations sismiques. Fig. 3 montre un bloc diagramme du modèle numérique. On y voit la représentation du champ de température stationnaire calculé d'après les géométries disponibles et les paramètres thermiques déterminés. La comparaison avec 10 bases BHT disponibles montre une très bonne corrélation entre les températures mesurées et calculées. Le modèle montre que le style tectonique de la montagne a une influence non négligeable sur le gradient thermique local, ce qui peut entraîner une variation de la courbe de température au sein d'un même niveau de profondeur. Fig. 4 montre une section horizontale dans une profondeur de 2300 m. La variation latérale de température dans cette profondeur de la zone modèle s'élève à presque 10 K. Ceci met en évidence que les structures profondes, typiques pour les bassins sédimentaires, ont une influence assez grande sur la répartition de la température. Les résultats de cette simulation ont été pris en compte pour la planification de deux forages. On pouvait alors déterminer un endroit économiquement optimal pour l'emplacement d'un forage de production.

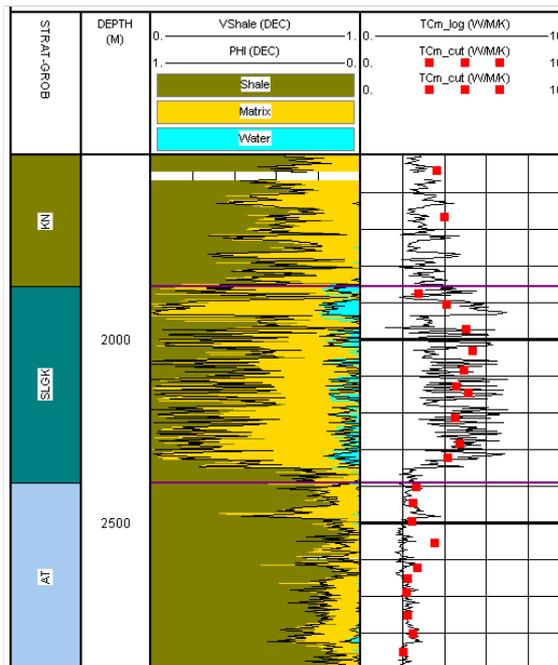


Fig. 2: La colonne de droite montre la conductibilité (calculée à partir de diagraphies) en comparaison avec les résultats obtenus en laboratoire sur des cuttings (exemple d'une profondeur de 1500-2900 m).

Dans une deuxième phase, l'implémentation d'un modèle détaillé du réservoir dans le modèle plus a eu lieu. L'intention était d'obtenir un pronostique de l'évolution de la température dans le réservoir après des années de phases de production et d'injection. Les conditions cadres du modèle du réservoir ont été prises du modèle de répartition régionale de la température. En tenant compte des différents scénarios hydrauliques, on a pu démontrer, que le doublet envisagé serait dans la mesure de maintenir les températures de production sur une période de plus que 50 ans.

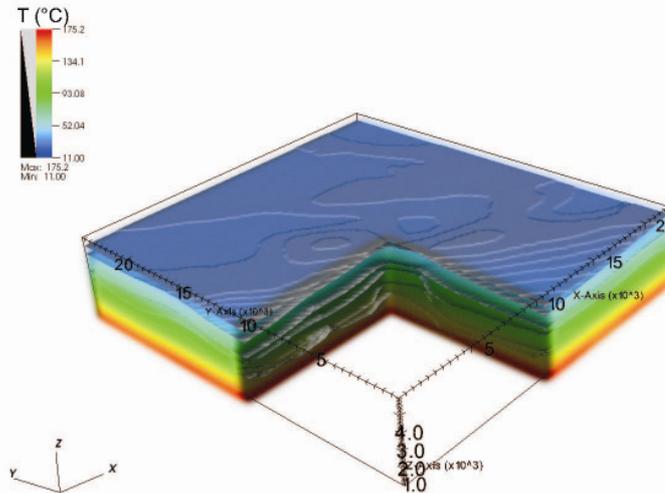


Fig. 3: Bloc-diagramme du modèle numérique avec les températures calculées de la zone modelée à une profondeur jusqu'à 5 km.

Résumé et perspectives

L'exemple présenté montre qu'une recherche et une interprétation soigneuses permettent de déterminer de paramètres initiaux représentatifs pour la compilation des modèles géothermiques numériques. L'analyse de digraphies de forage s'avère particulièrement important. En combinaison avec des mesures de laboratoire sur des carottes et / ou des cuttings il est possible d'obtenir des valeurs représentatives pour toute la série stratigraphique du secteur ciblé. Cette méthode est employée au projet « La Haye », mais également utilisée pour d'autres projets (p. ex. Bassin molassique de l'Allemagne du Sud, Bassin de l'Allemagne du Nord, Région du Rhin inférieur, Massif schisteux rhénan et Gippsland Basin en Australie). Ce modèle a été également utilisé sous forme modifiée pour les forages dans le cristallin de l'Allemagne du Sud (Bad Urach, KTB).

Les résultats montrent la faisabilité de pronostiques fiables en utilisant des modèles appropriés et calibrés. Entretemps, le premier forage à La Haye fut effectué et les températures pronostiquées dans le modèle ont été confirmées dans ce forage (<http://www.aardwarmtedenhaag.nl>).

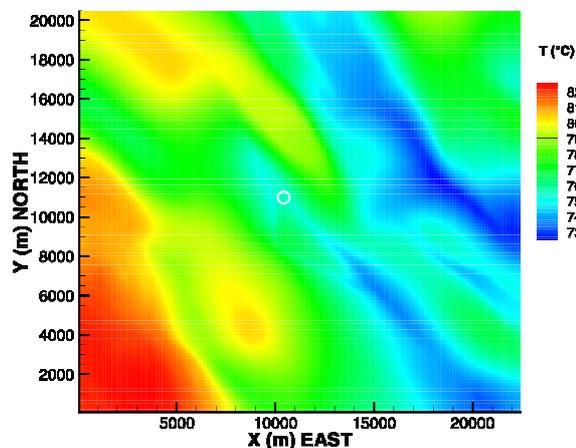


Fig. 4: Section horizontale du modèle à 2300 m. Dans ces profondeurs, le champ de température montre des différences allant jusqu'à 10 K.