

1 EVALUATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE SUISSE, RAPPORT 2007

Clément Baujard, Sarah Signorelli et Thomas Kohl

Geowatt AG
Dohlenweg 28
CH-8050 Zürich
e-mail: baujard@geowatt.ch

RESUME

Le présent rapport rend compte des travaux effectués pendant la période du 01.01.2007 au 31.12.2007 dans le cadre de l'évaluation du potentiel géothermique de la Suisse. Cette étude est financée par le Bureau Fédéral de l'Energie et par la Commission Suisse de Géophysique. Le travail présenté concerne ici exclusivement le Plateau Suisse occidental.

En 2006, la définition des modèles structuraux permettant l'étude avait été exposée. Une première étude hydrogéologique avait été menée afin d'identifier et d'estimer les potentiels géothermiques des différents aquifères régionaux. Les modèles thermiques ont été calculés et calibrés.

Durant la période considérée, une étude plus quantitative des paramètres hydrogéologiques de la zone concernée a été menée. Les géométries des différents aquifères ont été revues à la lumière de nouvelles données non prises en compte dans les précédents rapports, notamment en ce qui concerne l'aquifère du Malm Supérieur. D'autre part, des calculs quantitatifs du potentiel géothermique du Plateau Suisse occidental ont été réalisés afin de comparer les résultats obtenus avec les conclusions retenues pour la Suisse alémanique. Enfin, cette période de travail a permis de rédiger la publication numéro 40 de la Commission Suisse de Géophysique (Baujard et al., 2007), rendant compte de façon détaillée des travaux effectués dans le cadre de ce projet pour le Plateau Suisse occidental. Cette publication, complémentaire à la publication numéro 39 (Signorelli et Kohl, 2006), offre une étude complète et détaillée du potentiel géothermique de l'ensemble du Plateau Suisse.

1.1 INTRODUCTION ET PRESENTATION DU TRAVAIL

L'objectif général de l'étude présentée est une quantification réaliste de l'énergie pouvant être obtenue grâce à une exploitation approfondie du potentiel géothermique de la Suisse. Le concept de l'étude est très précisément décrit dans Signorelli et Kohl, 2006 et repris dans Baujard et al., 2007. De plus, il a été succinctement exposé dans le rapport annuel 2006 de la Commission Suisse de Géophysique. Il ne sera donc pas décrit ici plus avant. Le travail consiste en une modélisation tridimensionnelle de la température du sous-sol (voir Figure 1) puis en une estimation de l'énergie disponible et de l'énergie exploitable dans les aquifères considérés (Gringarten, 1978). Les paramètres clés conditionnant le calcul de ces énergies sont:

- la température moyenne de l'aquifère, qui dépend de sa profondeur et de la distribution 3D en température précédemment calculée, et
- la transmissivité de chaque aquifère, définie par le produit de la conductivité thermique de chaque aquifère par son épaisseur.

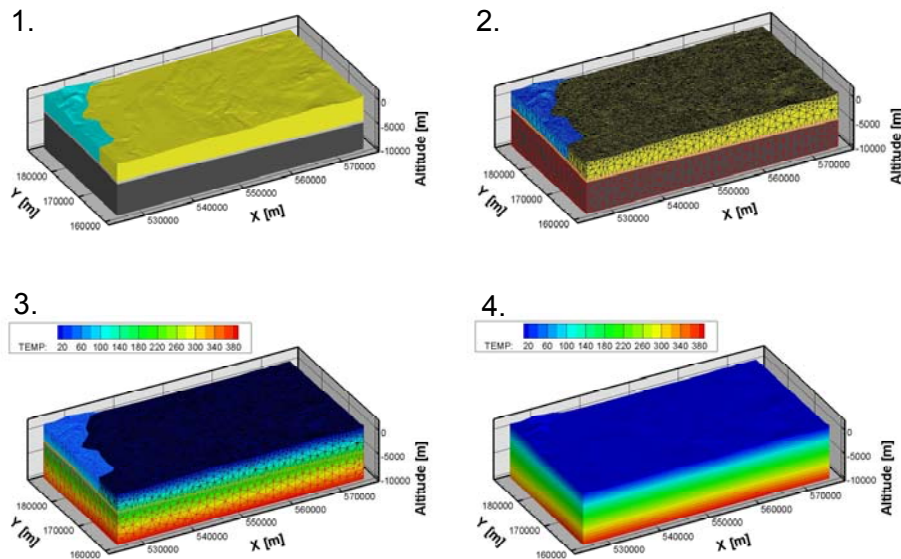


Figure 1: Exemple de procédure sur le modèle WS3. Le modèle géologique (1.) est maillé (2.); la température est ensuite calculée sur le maillage (3.). La distribution en 3D est ensuite représentée sans le maillage (4.)

Nous proposons ici de présenter quelques résultats types obtenus pour l'aquifère du Malm Supérieur, qui a fait l'objet d'attentions poussées en 2007.

1.2 HYDROGEOLOGIE

Une analyse statistique, initiée en 2006 a été poursuivie et approfondie en 2007.

L'analyse statistique de la distribution des conductivités hydrauliques dans le Malm Supérieur (Figure 2) montre qu'une des valeurs présentées ne peut pas être incluse dans une distribution gaussienne des conductivités hydrauliques mesurées (forage de Benken, mesure de la Nagra estimant la conductivité hydraulique de Malm supérieur à $1 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Comme pour les calculs menés pour le Muschelkalk Supérieur sur le Nord-Est du Plateau Suisse, une valeur limite de conductivité hydraulique de $1 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ peut être admise comme valeur limite pour une exploitation géothermique de l'aquifère (considérant un facteur de stimulation de 2.5). Ainsi, si l'on admet que les valeurs mesurées disponibles sont représentatives de la distribution spatiale des conductivités hydrauliques du Malm Supérieur, seuls 85 % du Malm supérieur représente un potentiel géothermique exploitable. Cette analyse statistique, bien que limitée par le faible nombre de données obtenues, confirme les résultats précédemment énoncés sur les valeurs des conductivités hydrauliques du Malm Supérieur, puisque cette analyse montre une valeur moyenne des conductivités du Malm Supérieur égale à $6.3 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

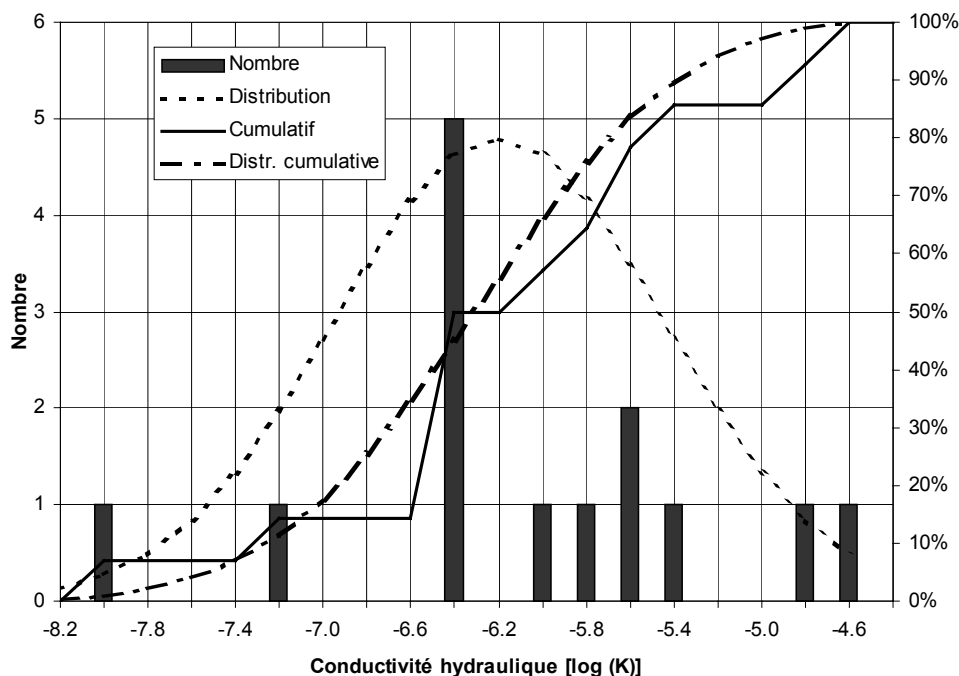


Figure 2: Histogramme des conductivités hydrauliques du Malm Supérieur. Une distribution log-normale est calculée et superposée à la distribution ($\Delta \log(K)=0.2$).

1.3 AQUIFERE DU MALM : POTENTIEL GEOTHERMIQUE

La géométrie du de l'aquifère du Malm supérieur ainsi que le potentiel géothermique calculé sont représentés (Figure 3). La classe de ressources 2 est définie par une profondeur minimale de 200 m et une température maximale de 100 °C. La classe 3 est définie par une température minimale de 100 °C et une profondeur maximale de 5000 m.

La température moyenne du Malm calculée sur l'ensemble du domaine d'investigations est égale à 66 °C. Le volume total de l'aquifère est estimé à 1'700 km³. La classe de ressource 2 compose 89 % du domaine étudié, mais ne compte que pour 78 % du total de l'énergie disponible. Ainsi, la classe 3 compose quant à elle 11 % du volume, et 22 % de l'énergie disponible.

La densité énergétique du Malm Supérieur est estimée à 110 PJ·km⁻³, valeur plus faible que celle calculée pour le Nord-Est du Plateau Suisse (140 PJ·km⁻³). Ceci est dû au fait que la température moyenne de l'aquifère sur le domaine étudié est inférieure à celle calculée lors de la première phase de l'étude (80 °C). On observe également, comme à l'habitude, que la densité d'énergie utilisable dans la classe de ressources 3 (2.6 PJ·km⁻³) est bien supérieure à celle de la classe 2 (1.2 PJ·km⁻³).

Le tableau 1 regroupe les résultats obtenus pour l'ensemble des domaines de la Suisse occidentale.

Tableau 1 : Résultats des simulations donnant l'énergie disponible E_{HIP} et l'Energie utilisable E_{ut} dans le Malm Supérieur pour les domaines Genf, WS1 à WS4

E_{HIP}	total	184'800 PJ
	par km ³ total	110 PJ
E_{ut} (30 années d'utilisation)	total	2'300 PJ
	Res. Classe 2	1'800 PJ
	Res. Classe 3	500 PJ
	par km ³ Res. Classe 2	1.2 PJ
	par km ³ Res. Classe 3	2.6 PJ

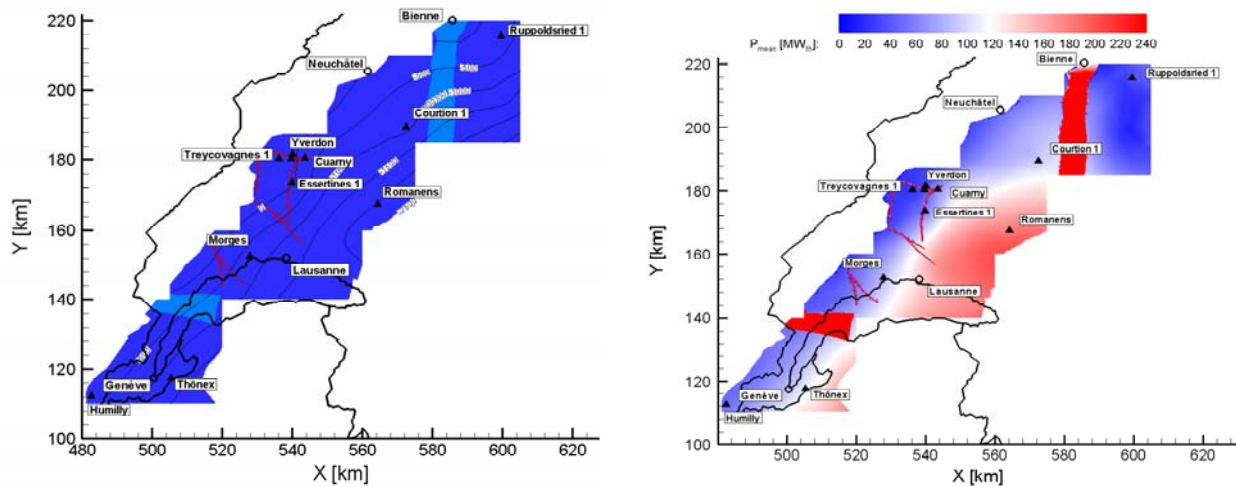


Figure 3: À gauche, carte des Isohypses du Malm Supérieur (en bleu foncé), avec les failles (en rouge) et les zones fracturées (en bleu clair). Sont indiqués sur la carte les principales agglomérations ainsi que les forages profonds atteignant le Malm Supérieur. À droite, puissance géothermique moyenne calculée pour l'aquifère du Malm Supérieur. Sont indiqués sur la carte les principales agglomérations ainsi que les forages profonds atteignant le Malm Supérieur.

1.4 CONCLUSION

La totalité du volume représenté par les 3 aquifères est égale à 4'590 km³ (2'633 km³ pour le Cristallin altéré, 313 km³ pour le Muschelkalk Supérieur et 1'643 km³ pour le Malm Supérieur). La répartition des classes de ressource est la suivante:

- 1 Classe 1: < 0.1 %
- 2 Classe 2: 33 %
- 3 Classe 3: 56 %
- 4 Classe 4: 11 %

On note ainsi qu'un tiers des ressources géothermiques de l'Ouest du Plateau Suisse appartiennent à la classe 2, et que plus de la moitié est située en classe 3. D'autre part, la classe 4, avec environ 1 dixième des ressources occupe une part non négligeable des ressources.

La température moyenne calculée pour la classe 2 est évaluée à 62 °C, valeur identique à celle trouvée par Signorelli et Kohl, 2006. En revanche, la température moyenne de la classe de ressource 3 est évaluée à 142 °C, contre 152 °C dans la partie Est du Plateau. Ceci est dû au fait qu'une partie importante de la ressource du cristallin (environ 20 %) est considérée ici comme appartenant à la classe de ressource 4, et non à la classe 3, faisant ainsi chuter la température moyenne de la ressource.

Il ressort de cette étude que plus de 2'000 PJ sont exploitables dans un but de production de chaleur (Classe 2, dans les aquifères du Muschelkalk et Malm Supérieurs). Plus de 13'500 PJ sont exploitables dans un but de production d'électricité et de chaleur (classe 3), essentiellement au niveau des aquifères du Cristallin altéré et du Muschelkalk Supérieur. Si le Muschelkalk Supérieur semble posséder la plus grande densité énergétique utilisable (grâce à une température relativement élevée et à une bonne conductivité hydraulique), le Cristallin altéré constitue de loin la plus grande réserve en énergie utilisable sur le domaine étudié.

1.5 REFERENCES

- Baujard, C, Signorelli, S. et Kohl, T., 2007. Atlas des ressources géothermiques de la suisse occidentale, Contribution à la géologie de la Suisse, GEOPHYSIQUE NR. 40, Publié avec la Commission Suisse de Géophysique
- Gringarten, A.C., 1978. Reservoir lifetime and heat recovery factor in geothermal aquifers used for mountainous terrain: a model study. *Journal of Geophysical Research*, 94 (B7), 9439 – 9451.
- Signorelli, S. et Kohl, T., 2006. Geothermischer Ressourcenatlas der Nordschweiz, Gebiet des Nördlichen Schweizer Mittellandes Beiträge zur Geologie der Schweiz, GEOPHYSIK NR. 39, Publiziert durch die Schweizerische Geophysikalische Kommission.