

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 103 (1977)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Le site géothermique de Lardello (Toscane)  
**Autor:** Morf, Jean-Jacques  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73222>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

celles qui ont régné longtemps dans notre pays. La concurrence étrangère, souvent vigoureusement soutenue par les gouvernements, se fait durement sentir, parfois aggravée par les problèmes de parités monétaires bien connus. L'expérience montre que le prix de certains produits suisses constitue un lourd handicap ; la question peut se poser s'il est préférable d'utiliser des fournitures en provenance d'autres pays industriels ou de s'en tenir à l'industrie suisse, en lui demandant un appui plus énergique par des prix réduits.

L'organisation et la surveillance de travaux dans des pays lointains, l'acheminement des fournitures, l'adaptation aux conditions locales, autant de problèmes à résoudre sur place. C'est dire la mobilité requise de la part des responsables et des collaborateurs de bureaux fournissant des prestations à l'étranger.

S'il est hors de doute que ce type d'activités est de prime abord accessible à de grandes entreprises générales, cela ne signifie pas qu'elles en aient l'exclusivité. D'une part, le volume potentiel de travaux dans les pays en voie de développement et la part qu'elles peuvent en espérer dépasse très certainement leurs capacités. On peut donc fort bien imaginer qu'elles confient des mandats à des bureaux d'études, comme elles passent des contrats avec l'industrie des fournisseurs.

D'autre part, nous sommes persuadés que les bureaux d'études suisses, avec les réalisations de haute qualité qu'ils ont à leur actif, sont parfaitement capables d'intensifier leur collaboration pluridisciplinaire afin de conquérir de nouveaux marchés. Ils sont détenteurs, au même titre que l'industrie, du label de qualité attaché au travail suisse.

Sur le plan de l'exercice de la profession, la mise en commun des moyens techniques et financiers pour la réalisation de travaux importants constitue pour les ingénieurs et les architectes une solution intéressante, apte à stimuler leur esprit d'entreprise et à maintenir leur indépendance.

Les difficultés qu'ont pu rencontrer certaines entreprises générales montrent que la récession ne connaît pas de discrimination. On peut en déduire que les chances sont aussi égales lorsqu'il s'agit de remonter la pente, l'imagination et le dynamisme jouant certainement un rôle plus important que les structures.

Désireux de mieux mettre en lumière tous les aspects de deux formules apparemment concurrentes, souvent complémentaires, le Bulletin technique de la Suisse romande reviendra sur ce problème en donnant à des personnalités concernées l'occasion d'exposer leurs expériences et leurs opinions dans le cadre d'un débat.

La Rédaction

## Le site géothermique de Larderello (Toscane)

par JEAN-JACQUES MORF, Lausanne

### Le site géothermique de Larderello

**Géologie :** Les montagnes métallifères situées dans la région boracifère entre Livourne, Sienne et Grosseto, en face de l'île d'Elbe, sont un des rares sites géothermiques connus (fig. 1).

En surface la couche du Néogène composée essentiellement d'argiles feuilletées constitue une *couverture imperméable*.

En dessous une couche Jurassique-Triassique perméable dans les zones à calcaires dolomitiques et imperméable dans celles à fortes accumulations d'anhydrites forme le *réservoir principal des fluides endogènes* (vapeurs et eaux surchauffées à faible teneur en acide borique).

Le socle basal pré-Carnien présente une *anomalie géothermique* et transmet particulièrement bien la chaleur de la masse magmatique.

Cet ensemble en trois couches crée dans le réservoir principal une circulation d'eau sous pression à température élevée (200°C à 300°C).

L'ouverture d'un forage dans une zone vierge provoque localement une brusque chute de pression entraînant l'évaporation de l'eau. Les puits commencent ainsi à débiter un mélange eau-vapeur qui se transforme ultérieurement en vapeur surchauffée.

Le gradient géothermique atteint 0,3 à 1°C/m dans cette région, alors qu'il ne dépasse guère 0,03°C/m en général.

Des sites semblables sont actuellement connus en Nouvelle-Zélande, aux Etats-Unis, au Mexique et au Japon.

### Histoire

Les plus anciennes mentions datent de Tibulle et de Lucrèce. La Tabula Itineraria Pentingeriana (II<sup>e</sup> siècle après J.-C.) cite les « Aquae Volterranae et Populoniae ».

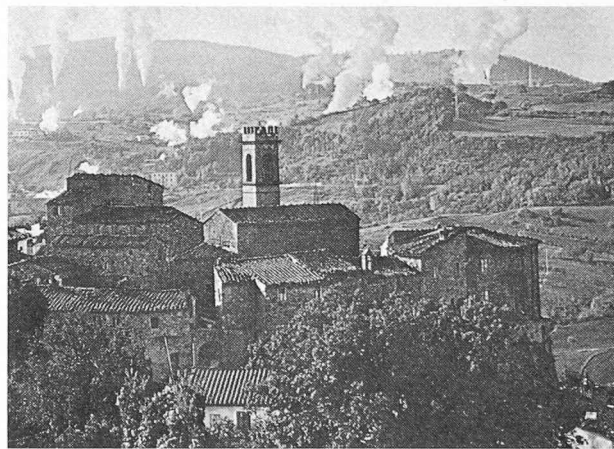


Fig. 1. — Le site géothermique de Larderello, en Toscane.

Les Etrusques utilisaient l'acide borique déposé par ces eaux pour la fabrication d'émaux.

Dès le Moyen Age les républiques toscanes se disputaient la possession des soufflards (jets de vapeur) et des lagons (petits étangs de condensation).

En 1777, Hoefler, directeur des pharmacies du grand duc de Toscane, entreprit l'exploitation artisanale de l'acide borique en évaporant l'eau des lagons.

En 1818, le Français François Larderel commença l'exploitation industrielle de l'acide borique en chauffant l'eau dans des bassins d'évaporation, au bois jusqu'en 1827 et plus tard en utilisant la vapeur captée au-dessus des lagons (fig. 2).

En 1904, le prince Piero Ginori Conti fit procéder à des expériences de production d'énergie. On constata déjà que les puits avaient tendance à s'épuiser (fig. 3).

La première centrale de 0,25 MW entra en service en 1913. Dès lors la production d'énergie n'a cessé de croître, sauf lors de la destruction des installations en 1944 (fig. 4).

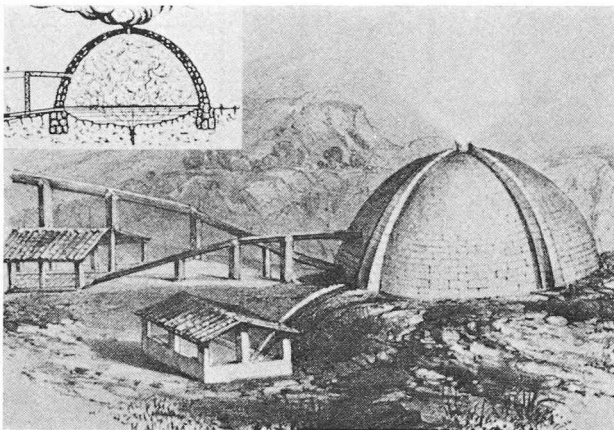


Fig. 2. — « Lagon couvert » pour le captage de la vapeur des manifestations superficielles. Conduites d'adduction de la vapeur (a) et des eaux boriques (b) aux bassins d'évaporation pour l'extraction de l'acide borique.

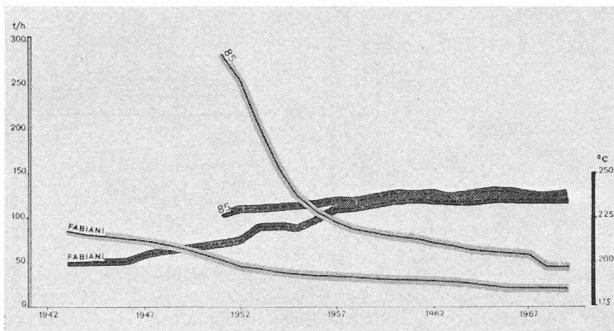


Fig. 3. — Evolution dans le temps du débit et de la température de la vapeur produite de deux puits du champ de Larderello. Les débits sont mesurés à une pression d'environ 4 ata.

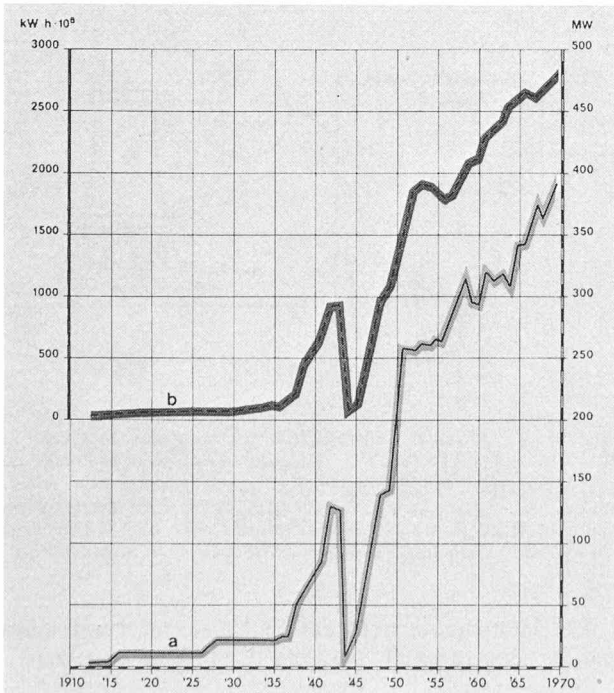


Fig. 4. — Centrales géothermoélectriques. Puissance installée et énergie électrique produite. La puissance installée (a) et l'énergie produite (b) ont accusé en Italie un accroissement continu. En 1944, les installations géothermiques furent totalement détruites par suite des faits de guerre.

L'extraction de l'acide borique a été supprimée en 1968. Depuis 1973 la puissance électrique des 18 centrales de la région est de 406 MW avec une production moyenne annuelle de 2,8 TWh/an = 320 MW.

### Exploitation actuelle

L'activité actuelle de l'ENEL consiste à étudier le sous-sol, à forcer de nouveaux puits et à les exploiter le plus rationnellement possible en vue de produire de l'énergie électrique.

Tout nouveau puits fait l'objet d'études géologiques, géochimiques et géophysiques permettant de se faire une idée de plus en plus précise de la nature du sous-sol et des chances d'obtenir de nouvelles sources de vapeur puissantes et durables. Les forages dépassent 1000 m de profondeur. Les tubages atteignent 34 cm de diamètre. De tels diamètres, peu usités pour le pétrole, sont nécessaires pour assurer un débit suffisant de la vapeur.

Lorsqu'un forage atteint le « réservoir principal », il se produit une sorte d'explosion de la vapeur à la tête du puits. On détermine les caractéristiques de débit, de tem-

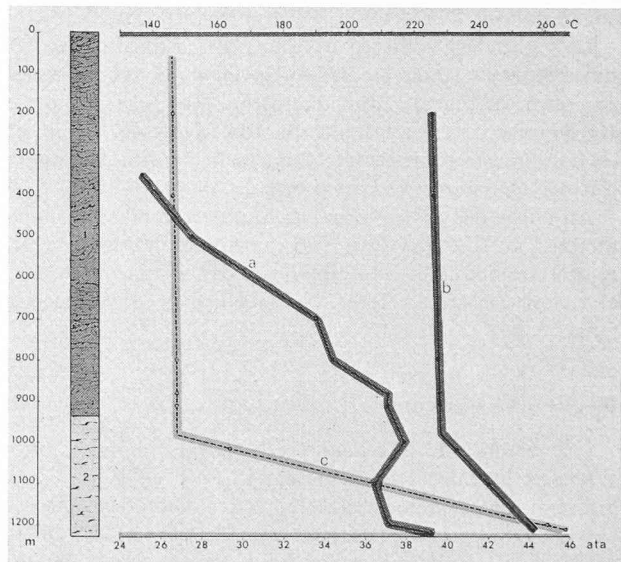


Fig. 5. — Mesures de température et pression à l'intérieur du puits. 1. Complexe de couverture; 2. Complexe perméable principal (réservoir). a) Allure de la température de l'eau dans le puits quelques heures avant l'explosion. b) Thermométrie à puits fermé après l'explosion. c) Pression enregistrée à puits fermé, en même temps que la thermométrie b). Les courbes b) et c) indiquent la présence, en ce puits, d'eau au-dessous de 1000 m environ.

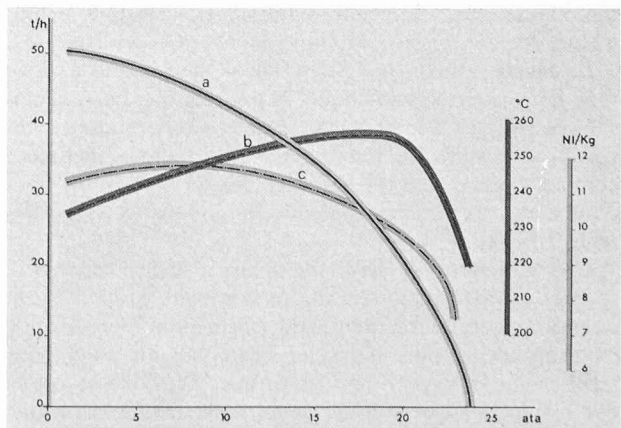


Fig. 6. — Caractéristiques physiques du fluide relevées à la tête du puits. Courbes de débit (a), température (b) et rapport gaz-vapeur (c), en fonction de la pression.

pérature et de contenance en gaz en fonction de la pression (fig. 5 et 6).

Trois cycles thermiques ont été utilisés :

- le cycle 1, direct à contre-pression (puits-turbine-décharge à l'air libre) (fig. 7) ;
- le cycle 2, à échangeur, qui permet de récupérer les eaux boriquées (fig. 8) ;
- le cycle 3, à condensation, alimenté directement par les puits (fig. 9).

Actuellement on n'utilise plus que les cycles 1 et 3. Le cycle 2, trop compliqué, a été abandonné en même temps que l'extraction de l'acide borique en 1968.

L'utilisation directe de la vapeur géothermique dans les turbines provoque une légère corrosion qui nécessite la révision des turbines tous les deux ans.

D'autre part, on étudie la réinjection de l'eau de condensation dans les couches géologiques profondes pour limiter la pollution des cours d'eau à sa valeur naturelle.

Il y a actuellement 17 centrales géothermiques totalisant 58 MW en 10 groupes utilisant le cycle 1, direct à contre-pression, et 348 MW en 26 groupes utilisant le cycle 3 à condensation.

La vapeur est collectée des puits aux centrales par des tubes en acier soudé de 50 à 800 mm de diamètre, isolés par 60 à 80 mm de fibre d'amiant. Ces tubes (plus de 100 km sur un espace limité par un rayon de 10 km) et les nombreuses tours de refroidissement donnent un aspect très caractéristique de la région.

Au cours des années d'exploitation, le débit d'un puits diminue et la température de la vapeur monte (fig. 3), ce qui complique le choix judicieux des turbines à vapeur et oblige l'ENEL à forer continuellement de nouveaux puits.

### Recherche et avenir

Une équipe de chercheurs, géologues, chimistes, physiciens et ingénieurs soutenus par l'ENEL et par le CNR à Pise et à Castelnuovo, développe des méthodes de prospection chimiques et physiques pour faciliter la localisation de sources géothermiques et sont en relation avec les équipes similaires de Nouvelle-Zélande (Wairakei 200 MW), des Etats-Unis (The Geysers 400 MW), du Mexique (Cerro Prieto 40 MW), du Japon (Matsukawa et Otake 13 MW).

Le CNR italien a constitué un institut international de recherche géothermique auquel participent aussi des pays qui ont l'intention de mieux exploiter leurs sources géothermiques (San Salvador, Philippines, Turquie, Chili, Chine, Algérie, France, Hongrie, Kenya, Grèce, Ethiopie).

La Suisse semble, pour le moment, peu intéressée à ce type de ressource énergétique. Il est vrai que nous disposons de très peu d'indices d'anomalies géothermiques comparables à celles de Larderello. Nos régions thermales comme Baden, Lavey, Loèche, Ragaz, sont très loin d'offrir des possibilités énergétiques comparables à celles de la Toscane.

Une idée nouvelle serait de créer, artificiellement, des sources géothermiques en forant des puits jusqu'à 6 km de profondeur, de fracturer artificiellement la roche chaude en profondeur, puis d'injecter l'eau par un puits pour récolter de la vapeur par les autres. Dans l'état actuel des techniques, le coût de ce procédé peut être estimé entre 5000 et 15 000 fr/kW, alors qu'il se réduit à 1000 fr/kW lorsqu'on dispose de gisements peu profonds du type de Larderello.

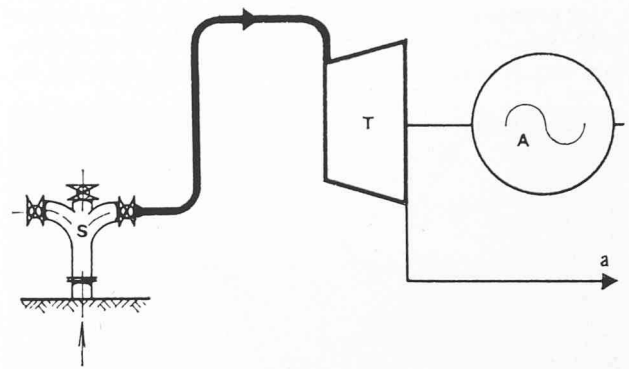


Fig. 7. — Schéma d'installation géothermique à Cycle 1. S = Tête de puits ; T = Turbine ; A = Alternateur ; a) = décharge à l'air libre.

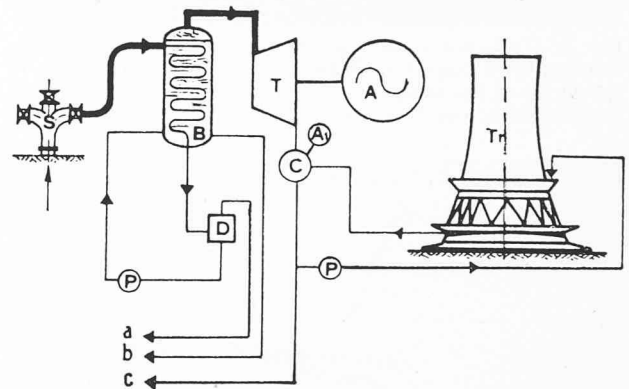


Fig. 8. — Schéma d'installation géothermique à Cycle 2. S = Tête de puits ; B = Echangeur de chaleur ; T = Turbine ; A = Alternateur ; C = Condenseur à mélange ; A<sub>1</sub> = Pompe à vide ; Tr = Tour de refroidissement ; P = Pompe ; D = Dégazeur ; a) = Décharge du gaz ; b) = Décharge des eaux boriquées ; c) = Surplus d'eau. Des eaux boriquées et/ou du gaz peuvent être envoyés aux installations chimiques.

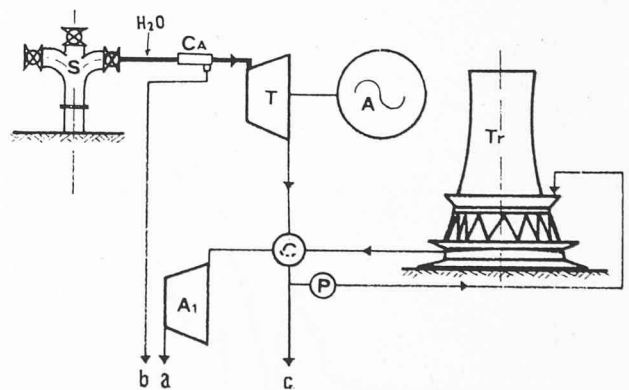


Fig. 9. — Schéma d'installation géothermique à Cycle 3. S = Tête de puits ; H<sub>2</sub>O = Injection d'eau pour le lavage de la vapeur ; C<sub>A</sub> = Cyclone axial ; T = Turbine ; A = Alternateur ; C = Condenseur à mélange ; Tr = Tour de refroidissement ; P = Pompe ; A<sub>1</sub> = Compresseur ; a) = Décharge du gaz ; b) = Décharge des eaux boriquées ; c) = Surplus d'eau.

Ces informations nous ont été aimablement transmises par les services de l'ENEL lors d'une visite du site.

Adresse de l'auteur :  
Jean-Jacques Morf  
professeur à l'EPFL  
16, chemin de Bellerive  
1007 Lausanne