

15/78

202

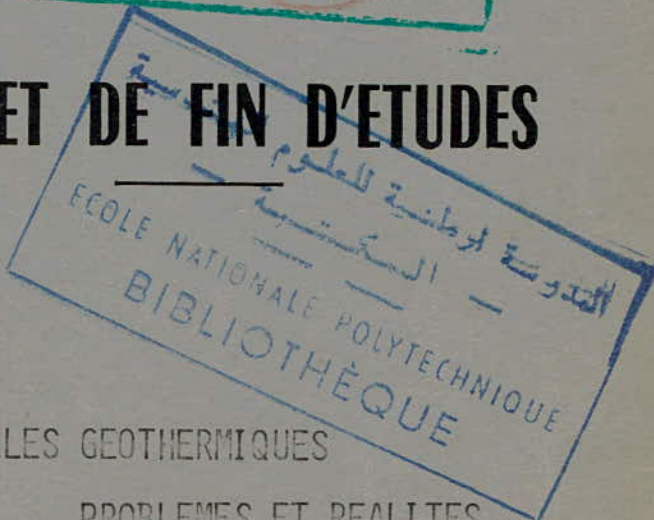
UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT ELECTRICITE

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTROTECHNIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES



SUJET : CENTRALES GEOTHERMIQUES
PROBLEMES ET REALITES.

PROPOSE PAR : ARTICHEVSKI, V

REALISE PAR : MEZIECHE MOHAMED

Je tiens par cette occasion, à, remercier M.
Artichevski pour l'aide qu'il m'a apporté,
ainsi que M. Stirbu et tous les professeurs
qui ont contribué à ma formation.

A MES PARENTS

A MES AMIS

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION.....	1
Chapitre I.....	5
A/I.1 Définition de la géothermie.....	5
I.2 Principe général.....	10
I.3 Forage.....	11
I.3 Séparateur.....	16
I.4 Transport de la vapeur.....	19
I.5 Turbine.....	21
I.6 Condenseurs à mélange.....	24
B/I.7 Partie électrique.....	26
 Chapitre II.....	 32
II.1 Calcul thermique.....	32
II.2 Partie électrique.....	35
II.3 Choix de l'appareillage.....	42
 CONCLUSION.....	 55

INTRODUCTION

On évalue à 3.10^{10} Kw la puissance correspondante aux flux des chaleurs provenant du manteau et de la croûte terrestre. Il est 5 000 fois inférieur à la chaleur reçue du soleil par la surface terrestre.

Cette formidable quantité d'énergie représente 30 fois la puissance installée dans le monde ; néanmoins la quantité totale de chaleur contenue dans les deux premiers Km de la croûte terrestre est 2 000 fois plus grande que celles de toutes les réserves de combustibles fossiles.

Les régions de la terre à fortes anomalies de flux de chaleur où l'on peut prévoir des conditions favorables à l'exploitation de l'énergie géothermique sont toutes situées près des littoraux marins et sont près des volcans actifs dans les temps historiques.

(Toute la côte pacifique de l'Amérique Méditerranée et côtes pacifiques de l'Asie surtout).

- l'utilisation de l'énergie géothermique date depuis l'époque antique où les Romains avaient trouvé le premier domaine d'utilisation.

Les Romains utilisaient déjà la géothermique ; il possédaient des installations des chauffages fonctionnant à partir de sources thermales chaudes (dont la température est inférieure à 100 °C).

Ce procédé est aujourd'hui très développé dans certains pays (ISLANDE, NOUVELLE ZELANDE etc...).

- Les ressources géothermiques n'ont pas seulement le but de constituer une source d'Energie pour le développement.

A travers les siècles on a découvert dans les eaux chaudes naturelles des propriétés curatives dues non seulement à leur température mais aussi à la composition physico-chimique des sels et des gaz dissous (exemple en ALGERIE).

- Un autre domaine d'utilisation commence à se répandre : c'est celui des chauffages des serres.
- Le dernier domaine d'application et le plus important pour notre projet est celui concernant la production d'électricité.

Ce type d'exploitation de l'Energie géothermique a beaucoup d'avantages : le coût du kwh produit est très bas. Le courant électrique est l'énergie la plus facile à transporter. Déjà dans certains pays cette forme de technologie est très avancée.

Cette forme d'Energie intéresse de plus en plus de nombreux pays. Pour donner une idée de son développement on a pris certaines statistiques. En 1963 seulement 4 pays ont produit de l'électricité géothermique dans le monde.

	ITALIE	U S A	New ZELANDE	MEXIQUE
(Mw)	315	24	130	3,5

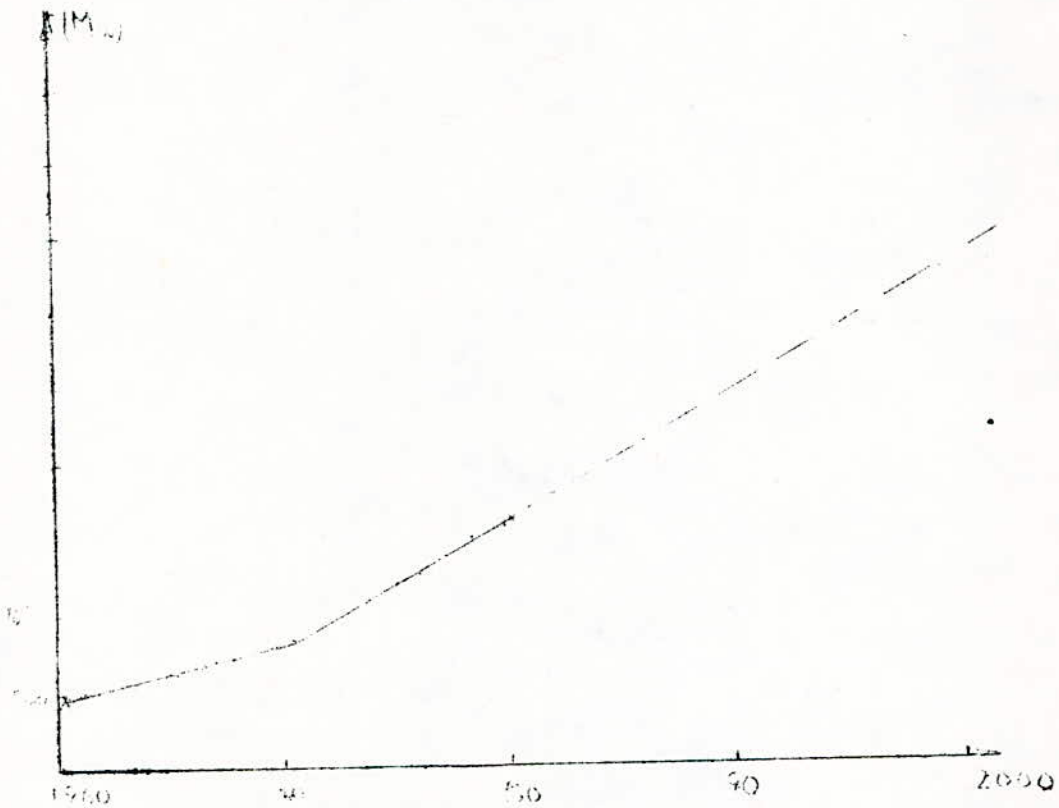
En 1973, 7 pays exploitèrent l'énergie géothermique pour la production de l'électricité.

	ITALIE	U S A	New ZELANDE	JAPON	MEXIQUE	URSS	ISLANDE
(Mw)	390,6	396	202	43	78,5	38,6	20

Pour 1980 en prévoit:

	Ita.	USA	N.Z.	JAP.	Mex.	URSS	Isl.	Sal. Fr.	Tur.	
(Mw)	405,6	958	400	387	458,5	144,6	20	30	25	30

Quant aux autres pays qui ont de très grandes possibilités ils sont en train de recenser toutes leurs potentialités géothermiques (Hongrie, Bolivie, Ethiopie, Kenya etc...)



Dans les conditions où la croissance stagnerait autour de celle (73-80) vers l'an 2 000 on aura une puissance de 7 000 Mw. Et ceci dans les conditions les plus défavorables vue la crise énergétique qui secoue le monde.

Déjà, en NOUVELLE ZELANDE l'énergie géothermique occupe plus de 10% de toute l'énergie consommée dans le pays (sous forme électrique, pour le chauffage urbain...)

On arrive à comparer la puissance qui correspond aux différentes sources d'énergie primaire.

	En.des marais	En.géothermique	En.Solaire	Comb.Foss.
(Kw)	$3 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^7$

GENERALITES

DEFINITION DE LA GEOTHERMIE.

Certaines sources d'eau naturelle ont des caractéristiques différentes de celles courantes. Leur eau est à une température élevée.

La géothermie est produite par le régime thermique interne de la terre.

On sait que d'une façon générale dans les couches supérieures de la croûte terrestre le gradient vertical de la température est en moyenne de 1°C par 30 m. Il dépend cependant fortement des conditions géologiques locales. Ceci correspond à un flux vertical de chaleur dirigé de l'intérieur vers la surface de la terre.

Plusieurs hypothèses sont avancées quant à l'origine de cette chaleur. La 1ère est que la terre à sa formation était en incandescence et qu'elle s'était refroidie en surface au cours du temps.

Cette hypothèse a été abandonnée quand on a découvert la chaleur produite par l'énergie de rayonnement des éléments radio-actifs qui étaient ou sont présents dans la terre.

La deuxième hypothèse est dite "planétésimale". Elle prétend que la terre était formée de microplanètes et de poussières cosmiques et était froide. Les fragments s'abattant par gravité sur l'astre, l'échauffement fut produit par l'énergie cinétique et par l'énergie de rayonnement des isotopes radio-actifs.

La géologie montre que dans les régions géothermiques la discontinuité de Mohorovicic n'est pas marquée, c'est à dire qu'il n'y a pas de séparation nette entre la croûte et le manteau supérieur.

Le manteau est donc 'anormal', il engendre le maximum de chaleur. Il faudra alors pour permettre l'exploitation géothermique une quantité d'énergie supplémentaire. Les matières magmatiques remontent à la surface de la croûte en amenant de grandes quantités de chaleur.

Un centre de chaleur de haute température et à faible profondeur dans la croûte est à la base du modèle des champs géothermiques.

- Caractéristiques d'un champ géothermique :

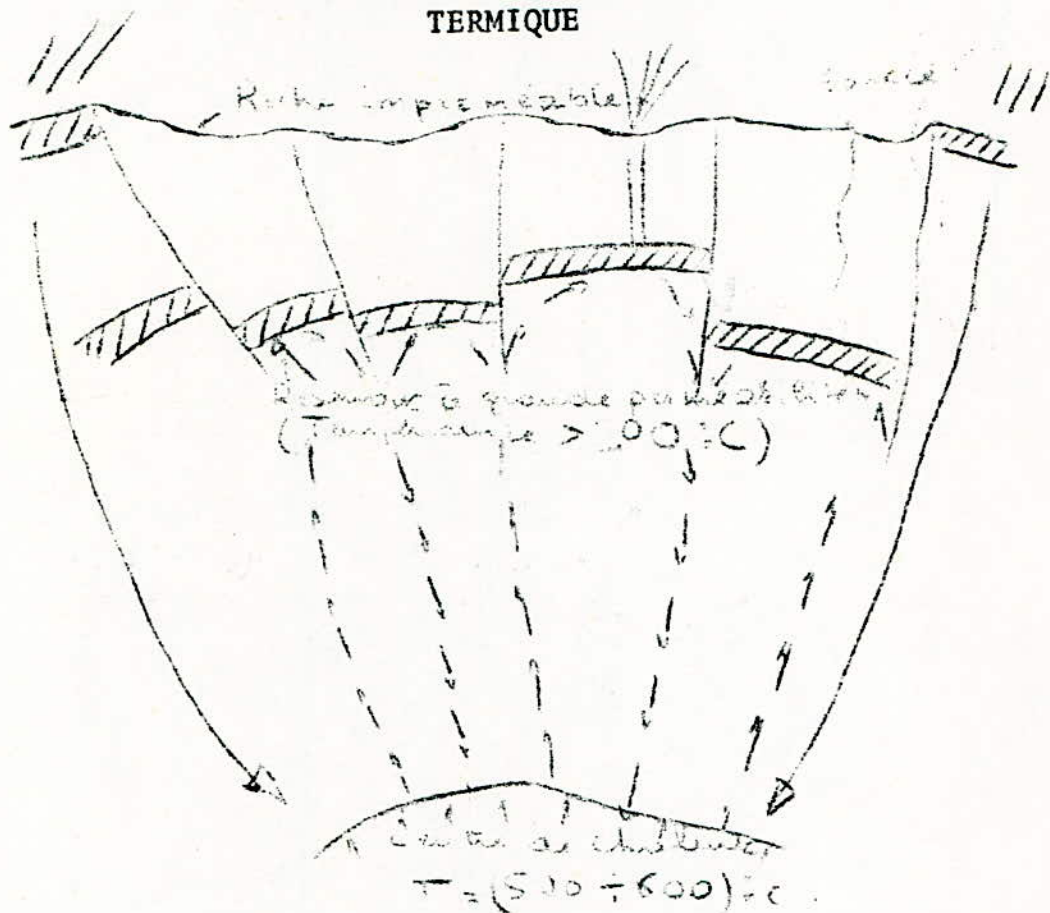
En l'absence de fluide, le transfert de chaleur se fait par conduction.

Cependant plus on se rapproche de la surface de la terre les roches deviennent perméables et ceci permet l'infiltration d'une certaine quantité d'eau. Cette eau se réchauffe en profondeur.

Plus le centre de chaleur a une température élevée et plus il est proche de la surface terrestre, plus l'enthalpie sera élevée.

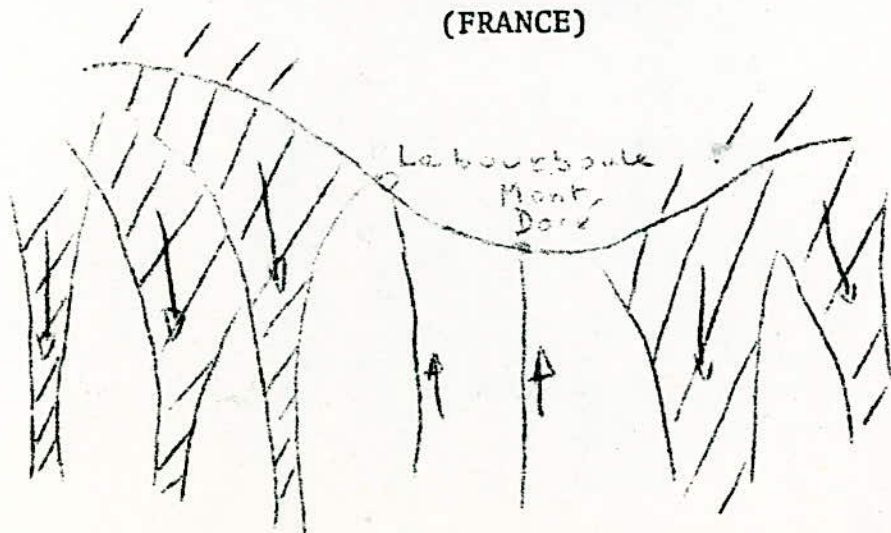
La montée de l'eau chaude réchauffe les roches. Cette zone où l'eau cède en partie son énergie thermique est appelée "Réservoir géothermique". Dans toute étude sur les champs géothermiques on cherchera ce réservoir situé en général entre 300 et 1500 m de profondeur.

MODELE DE CHAMP GEO-
TERMIQUE



Roche perméable

CHAMP DE LA BOURBOULE
(FRANCE)



On distingue plusieurs types de sources.

- cas des sources thermales: l'eau arrive sous forme liquide à la surface (Ex. ALGERIE)
- les geysers: sources d'eau chaude jaillissant par intermittance. (en général l'eau est sous forme de vapeur).
- Fumeroles: ce sont des gaz et des vapeurs chaudes émis par des volcans au voisinage des cratères, à l'ouverture des crevasses ou à la surface des coulées de laves.

En ALGERIE, il n'existe que des sources thermales d'eaux chaudes dont la plus importante est celle de HAMMAM EL MASKHOUTINE.

On peut cependant ajouter qu'actuellement on procède à l'étude de "sources artificielles". Deux⁽²⁾ types ont été prévus:

- la 1ere consiste à injecter de l'eau dans de grandes profondeurs où la température est élevée, et par la suite la tirer dans des puits. Celle-ci ressortira à haute température. On pourra alors récupérer l'énergie qu'elle aura capté dans le "centre de chaleur".
- Quant à la deuxième méthode elle fait peu d'échos chez les spécialistes. Elle consiste à produire une explosion nucléaire dans des zones riches en eau (en profondeur). L'explosion dissipera son énergie dans cette eau. La récupération de cette eau va permettre d'utiliser l'énergie déjà dépensée.

On constate que de nombreuses propositions ont été faites entre autre celles que nous avons citées et d'énormes moyens ont été mobilisés pour développer cette forme d'énergie dont il est impossible de dire aujourd'hui où s'arrêtera ce développement qu'on aurait pas osé prévoir il y a quelques années.

DIFFERENTS TYPES D'EXPLOITATION.

Le cas des fumeroles a été laissé à part et jusqu'ici aucun ouvrage ne donne un domaine d'utilisation. Probablement à cause de la composition chimique des gaz (proportion en soufre élevée) qui sont toxiques. Leur utilisation suppose donc une protection rigoureuse donc couteuse.

Les geysers où généralement l'eau sort sous forme de vapeur à de grandes températures à la surface de la terre. Des forages à faible profondeur permettent d'avoir une vapeur sèche et sous une pression raisonnable. Les forages permettent également d'augmenter le débit de la source. Deux (2) cas se présentent :

- la vapeur contient beaucoup d'impuretés chimiques.

Il n'est pas possible de l'envoyer directement dans la turbine et ceci pour les techniques classiques.

Avant on utilisait la vapeur provenant d'un échangeur de chaleur. Cette technique est aujourd'hui délaissée à cause des pertes qu'elle engendre.

- la vapeur contient très peu d'impuretés (dans des proportions négligeables). Ainsi les problèmes se trouvent applanis.

Introduction.

Introduction.

L'histoire de l'exploitation de l'Energie géo-thermique pour la production de l'électricité débuta à titre expérimentale en 1904 à LARDERELLO. A cette date la centrale parvint à alimenter quatre (4) ampoules électriques.

Elle était composée d'un groupe d'une turbine et d'une dynamo. Mais vu les difficultés qui se présentaient, on a porté depuis un intérêt sérieux d'un point de vue technologique et son développement fut soutenu jusqu'à nos jours. Mais jusqu'en 1945 LARDERELLO était une curiosité naturelle unique dans le monde. Aujourd'hui il participe à 5% de la production totale d'électricité en Italie. Puis en 1951 ce fut le tour de la nouvelle Zelande avec l'implantation de la centrale géo thermo-électrique WAIRAKEI. Enfin en 1960 en Californie l'usine géante de the Geysers commença à produire de l'énergie électrique. Aujourd'hui de nombreux pays commencent à se familiariser avec cette forme d'énergie.

Vu les difficultés qui se posent (que nous expliquerons plus tard) il est nécessaire d'adopter une stratégie en vue de mener à bien l'opération:

- s'assurer que l'alimentation de la vapeur (en quantité suffisante) soit continue pour une longue période.
- Démontrer que l'extension de l'aire de production est suffisante en fonction de l'espacement choisi.
- Réduire au minimum les dépenses de l'unité de production (forages, canalisations, centrale....).
- Réduire au minimum les délais entre la découverte et la mise en production du gisement.

II/ PRINCIPE GENERAL.

a) Introduction

Toute production d'énergie, électrique ou mécanique à partir de la chaleur repose sur les 2 premiers principes de la thermodynamique. En plus il n'est pas possible de produire de l'énergie en consommant de la chaleur à une température uniforme (sinon on exploiterait l'énergie des océans, de l'atmosphère...). Pour produire de l'énergie on doit emprunter de la chaleur à une source chaude et restituer une quantité inférieure à une source froide. La différence entre les deux (2) énergies nous donne l'énergie qu'on aura produite. Si Q_1 est la quantité de chaleur empruntée à la source chaude, T_1 sa température et Q_2 et T_2 respectivement pour la source froide, on doit avoir :

$$\boxed{\frac{Q_2}{T_2} \geq \frac{Q_1}{T_1}}$$

T (° K)

Ou bien $S_2 \geq S_1$ (puisque $S = \frac{Q}{T}$) où S est l'entropie.

L'énergie produite est la différence $\boxed{Q_1 - Q_2}$

Ce n'est pas seulement la source chaude qui limite la production d'énergie, même la source froide joue un rôle important. Il n'est pas indifférent d'avoir, comme Wairakei, à côté de l'usine une grande rivière aux eaux toujours froides. Car le rendement, dans notre cas, dépend de la température de la source froide. Ce rendement est donné par :

$$\boxed{\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \eta}$$

b) Forage: L'exécution des sondages comporte des précautions que l'on doit retrouver dans tous les cas. Il est nécessaire avant d'atteindre le toit du gisement, d'avoir cimenté une colonne, dans des conditions telle qu'elle puisse supportér la pression qui s'exercerait sur une vanne fermée; sans que la vapeur puisse s'infiltrer à l'extérieur du ciment. On doit utiliser de la boue durant l'exécution du sondage afin de maîtriser une éventuelle eruption. Il faudra aussi prendre des mesures dès que l'on arrive à une fissure productrice de vapeur, en utilisant de la boue suffisamment froide et lourde, et poursuivre le forage pour obtenir une meilleure production. A Larderello on arrête le forage dès que la vapeur fait son apparition. Une fois le réservoir atteint, on vide le trou, on l'ouvre et la vapeur s'échape dans l'atmosphère, ceci pour désengorger le puit des boues et des fragments. Très spectaculaire et très bruyllante, mais elle ne pose aucune difficulté particulière. La vapeur au contact avec l'air froid se condense partiellement, et au bout de quelques jours de dégagement à l'air libre la vapeur ne se condense que plus haut. Elle est donc devenue sèche sous la pression atmosphérique. Puis, le puit est laissé en observation durant une certaine période (En général plus d'un mois). On mesure alors les valeurs de la pression à l'aide de manomètres, la température, le débit et la teneur en vapeur de mélange.

Dans le réservoir, vu que la pression qui y régne est très grande, la température de vaporisation doit être grande aussi. Donc le fluide géo thermique (l'eau) doit probablement être sous forme liquide, bien que sa température soit élevée.

En montant, l'eau s'évapore sous l'effet de la chute de pression provoquée par la mise en production du puit. La température de la vapeur en tête du puit est fonction de la pression (qui est imposée). Cette période d'observation est très importante et assez longue. Importante car elle conditionne tout ce qui suivra, longue à cause du fait que les opérations doivent être minutieuses, car elles doivent aboutir à des résultats relativement exacts. Vu que tout repose sur leurs données que l'on ne peut prévoir. La profondeur varie d'un champ à un autre et d'un puit à un autre. Par exemple à Lardetello, on peut noter que la majorité des puits en exploitation à une profondeur de 1 000 m à 1 100m; la tendance actuelle est de pousser les nouveaux puits jusqu'à des profondeurs de 3.000m, de façon à vérifier l'existence de nouvelles sources de vapeur. Suivant la perméabilité des terrains les puits sont généralement distants de 200 à 500m. On en compte actuellement environ 300 en activité. On rappelle que la technique de forage des sondages géo thermiques est analogue à celle des forages pétroliers. On rencontre, toute fois, quelques problèmes spécifiques en matière d'accessoires de sondage, de techniques opératoires et de matériaux spéciaux. On utilise généralement des installations rotary standard de moyenne puissance dont certaines parties ont été modifiées et adaptées.

La principale de ces modifications concerne le soubassement du "derrick"; il doit présenter une largeur et une hauteur suffisante pour permettre une installation facile des équipements de la tête du puits et principalement du "préventer". Ce dispositif permet de fermer rapidement la tête du sondage en cas de venue subite de vapeur.

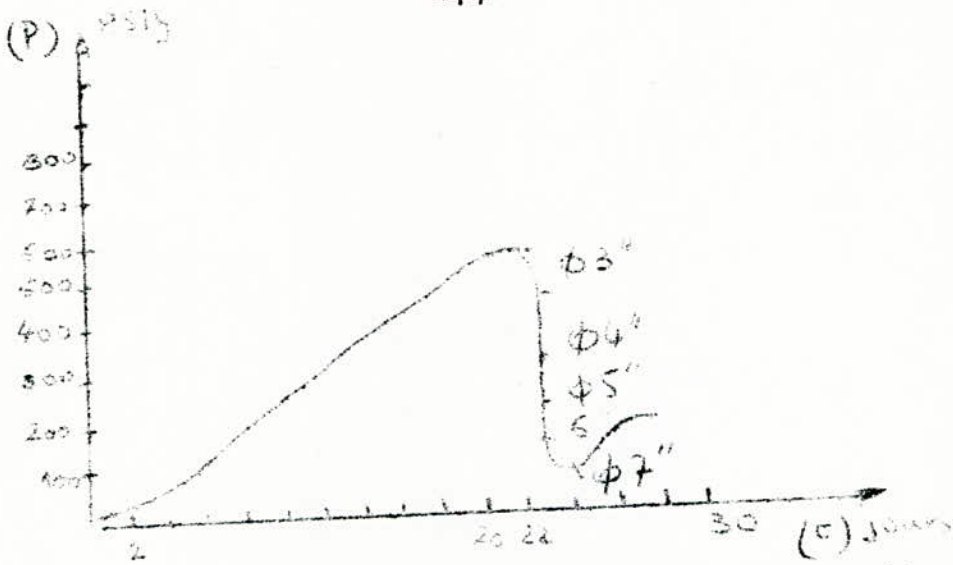
On compte actuellement environ 300 puits en activité, chacun d'eux assurant une production moyenne de 50 tonnes par heure de vapeur. Le forage étant réalisé, on prend alors les caractéristiques de la vapeur. Comme on le verra dans les diagrammes, toute anomalie dans les courbes, aura une cause liée au forage, ceci pour un puits normal. En effet, si une fracture se produit dans le forage, des anomalies, peuvent en résulter au niveau de la forme des courbes caractéristiques de la vapeur, comme on le verra plus loin.

-Relevé des courbes caractéristiques de la vapeur:

-Pression:

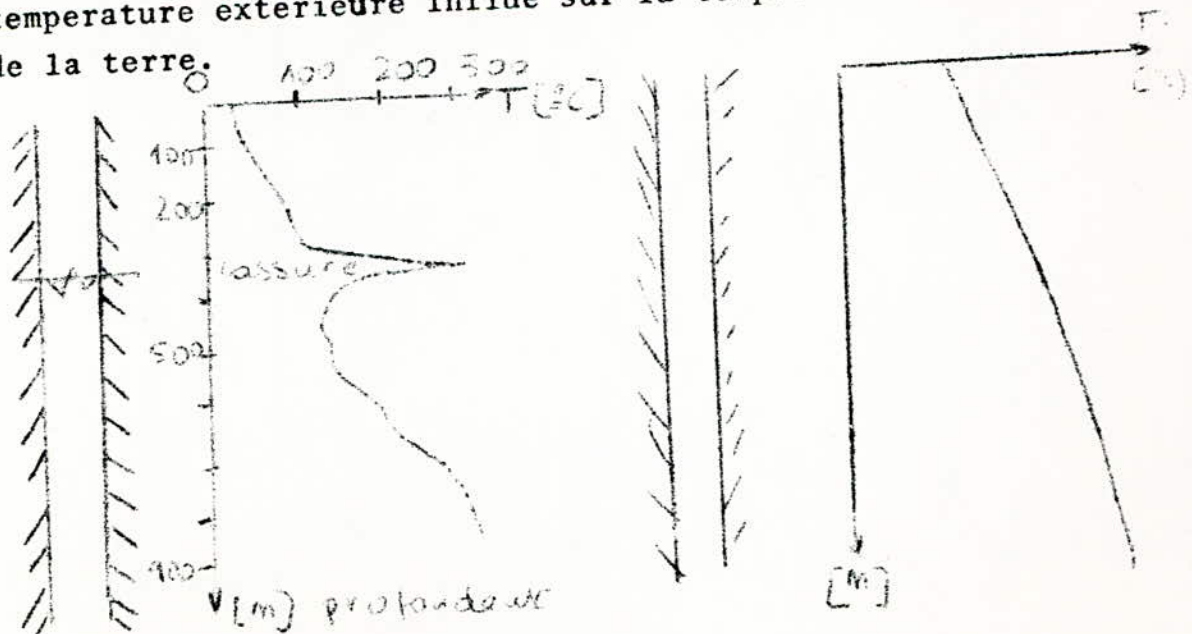
Après que le puits soit totalement construit et lavé, il est laissé en observation durant une certaine période (en général plus d'un mois). Si le puits a une évolution normale, il doit avoir une pression (et on conserve les conditions de construction) qui s'élève d'une façon continue à la décharge pour des diamètres restreints. La variation de cette pression varie toujours avec l'ouverture et la fermeture du puits. Quand on opère avec des diamètres plus grands, la pression diminue et se stabilise rapidement sans fluctuations ou variations marquées (au maximum 10 psig).

Ce comportement se conserve jusqu'à l'ouverture totale du puits pour le diamètre maximum du puits.



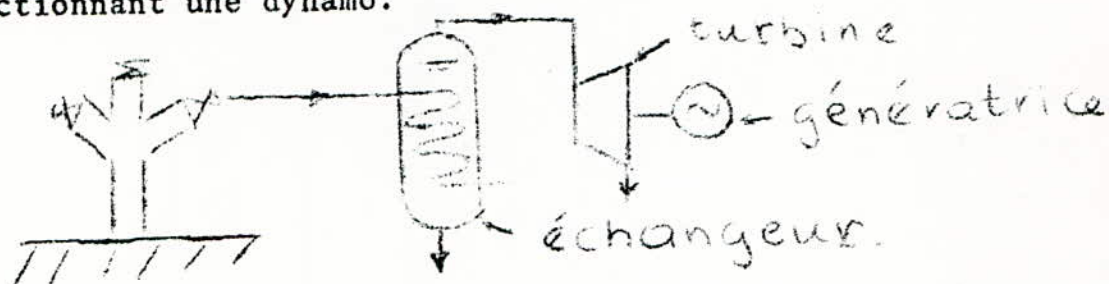
Controle de pression de decharge d'un puits
en periode de developpement et d'échauffement.
 Une pression anormale apparait si durant la periode
 d'observation le tube se casse. La vapeur s'échape à
 travers la terre. D'où la pression enregistrée à la
 tête du puits est variable et est cyclique (de 50 à 80 psig).
 Cette variation depend de l'importance de la fracture.

-TEMPERATURE: L'enregistrement de la temperature se fait
 en au moins 72 heures. La courbe est croissante. Si le puits est
 anormal, c'est à dire quand une fracture se produit, celle-
 ci engendre un accroissement brutal de la temperature:
 La durée de l'operation est importante du fait que la
 temperature extérieure influe sur la temperature interne
 de la terre.



B/PRINCIPE DES CENTRALES GEOTHERMIQUES:

Les geothermo-electriques (centrales) sont à peu près identiques aux centrales classiques. A cause du fait que la vapeur d'admission n'était pas pure, les centrales anciennes étaient alimentées par de la vapeur provenant d'échangeurs de chaleur, où l'eau douce était chauffée par de la vapeur naturelle provenant du puits. En 1904 ce procédé a été pour la première fois utilisé à Larderello. On mit en action une motrice de 0,75 CV (la pression de la vapeur était de 1,9 bars) actionnant une dynamo.



En 1913 fut installé à Lago le premier turboalternateur (250 KW) à condensation. Les turbines étaient alimentées par de la vapeur secondaire c'est à dire provenant d'échangeurs; à cause du fait que la vapeur naturelle avait une teneur en sels et en gaz très élevée. Par exemple à Larderello; la proportion des composants en poids de la vapeur est la suivante: H_2O (vapeur): 95,58% CO_2 : 4,27% H_2S : 0,09%
 NH_3 : 0,02% H_3BO_3 : 0,02% CH_4 : 0,02% N_2 + GAZ RARES: 0,016%.
Dans le cas d'une alimentation directe avec de la vapeur naturelle, cette composition entraînerait la dégradation de l'équipement et surtout de la turbine. Les moyens techniques dont on disposait ne permettait pas la construction de turbines résistantes.

L'énergie géothermique est une source à bas contenu énergétique. Pour que son exploitation soit possible, il faut avoir une vapeur à une température d'au moins 150° et de préférence 200°. La solution qui consiste à utiliser des échangeurs n'est pas économique. Le rendement des échangeurs est fonction de leur

7. Efficacité. Même dans les bons échangeurs les pertes sont importantes. D'où à cause de la présence des sels d'importantes recherches ont aboutit à la conception de nouvelles turbines.

Ces sels créent des problèmes de corrosion qui diffèrent d'un endroit à un autre en relation avec leur qualité et leur quantité.

Normalement pour exploiter une vapeur en vue d'une production d'énergie électrique, il faut qu'elle soit sèche, sans sels et sans gaz à la fois. Ce cas n'existe pas dans le monde. Par exemple à Larderello et à The Geysers la vapeur est sèche mais contient des sels et des gaz. Les parties où l'agressivité des sels se le plus sentir sont: les sections des aubages et quelques parties du condenseur. Dans presque tous les cas, le fluide géothermique arrive à la tête du puits sous forme d'un mélange vapeur-eau (exception faite pour certains puits).

1/LE SEPARATEUR:

Il est évident que le mélange vapeur-eau n'offre pas beaucoup d'intérêts, et que seule la vapeur sèche nous intéresse. Le problème consiste donc à séparer ce mélange. La vapeur ira entraîner la turbine, quant à l'eau elle pourra avoir un autre usage. Pour réaliser cette opération on utilise un séparateur. Le séparateur est conçu de sorte que le jet de mélange vapeur-eau entre tangentiellement dans l'enceinte cylindrique. Dans ce mélange l'eau se trouve réduite en gouttelettes en suspension. Les gouttelettes tombent à la base quant à la vapeur, elle se met à tourbillonner jusqu'à arriver à la conduite de départ vers la centrale. La température de l'eau est fonction de la pression sous laquelle la vapeur est exploitée; mais est toujours supérieure à 100° . Une partie de cette eau ira se vaporiser à la détente. Ainsi on pourra récupérer cette vapeur pour l'utiliser dans un deuxième réseau à basse pression. La pression à laquelle il faut effectuer cette séparation doit être soigneusement choisie. Mais le liquide peut avoir

une sensible teneur énergétique, et par conséquent, une deuxième extraction de vapeur peut s'avérer convenable du point de vue économique. Il est nécessaire d'évaluer de temps en temps s'il est économiquement rentable d'effectuer cette deuxième extraction de vapeur. Elle serait plus facile si les fluides géothermiques des différents puits sont transportés à proximité de la centrale où serait installé un seul séparateur pour la deuxième extraction. L'expérience Japonaise est fort intéressante à ce sujet. Leur méthode consiste à renforcer l'installation du séparateur par l'introduction du "FLASHER". Celui-ci est un séparateur particulier, de la vapeur et de l'eau. Cette méthode a beaucoup d'avantages par rapport aux autres systèmes :

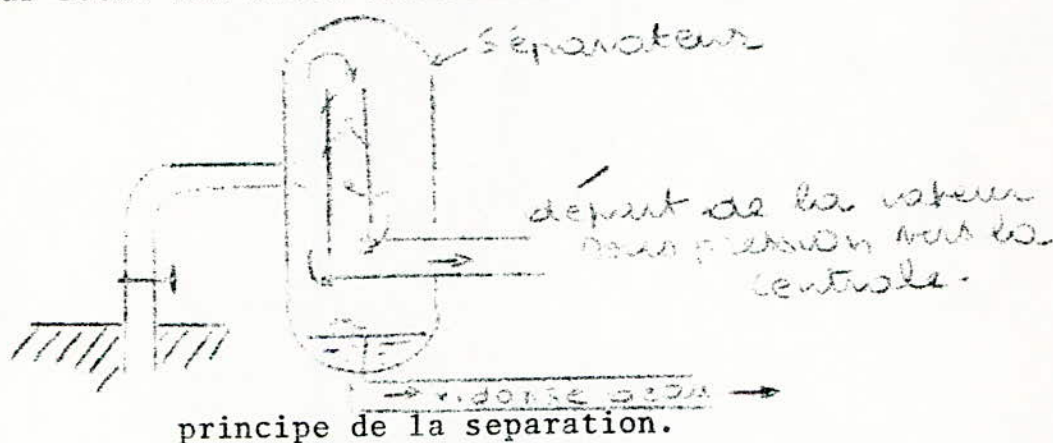
- On récupère 15 à 20% d'énergie en plus, ceci avec un investissement supplémentaire raisonnable.
- Le coût est de 5% seulement supplémentaire.
- En tenant compte des 2 caractéristiques précédentes, on constate que le coût du KWH est de 10 à 15% moins cher.
- Grâce au "Flasher" l'extraction de vapeur est élevée (30% en plus)
- On utilise des vannes très simples, ce qui a des répercussions sur le coût et sur la maniabilité.
- La corrosion est réduite de 2%.
- La température de l'eau évacuée est plus basse de même que sa quantité diminue de 11%.

Le "flasher" peut également évacuer l'eau chaude dans l'atmosphère. Sa pression optimum est de $0,8 \text{ à } 1,8 \text{ kg/cm}^2$. Si la pression est inférieure à $0,8 \text{ kg/cm}^2$ l'eau chaude ne peut être évacuée dans l'atmosphère.

Mais on doit bien dimensionner les vannes de contrôle et les conduites de la turbine pour ne pas gêner le fonctionnement de l'équipement de l'usine. Et si la pression du "flasher" est trop basse, des difficultés peuvent en résulter dans le fonctionnement de l'équipement de l'usine.

D'où on doit bien sélectionner la pression du "flasher".
La pression de la vapeur primaire (issue du séparateur) et la pression de la vapeur secondaire (provenant du "flasher") sont dans l'usine de Hatchobaru de 7 kg/cm^2 et de $1,11 \text{ kg/cm}^2$ respectivement. Le "flasher" produit une vapeur secondaire pure à 99,9%. Son mécanisme diffère de celui du séparateur. L'eau chaude du séparateur est amenée vers le "flasher" à travers un orifice qui doit contrôler le niveau de l'eau du séparateur.

Dans certaines situations une deuxième séparation de la vapeur s'avère nécessaire car une partie de celle-ci se condense partiellement (sous forme de gouttelettes). La vapeur sèche est alors admise dans la turbine.



2/TRANSPORT DE LA VAPEUR:

Pour transporter la vapeur on utilise des tubes en acier soudés de diamètres normalisés. (Par exemple à Larderello on trouve des diamètres de: 250, 350, 450, 650 ou 800 mm d'une épaisseur de 6 à 7 mm. Ces tubes sont enrobés d'une couche de matériaux calorifuge (fibre d'amiante pré-moulée en coupelles), dont l'épaisseur varie entre 60 et 80 mm. Un revêtement extérieur en tôles minces d'aluminium assure la protection du matériau isolant contre les agents atmosphériques. Chaque puits a fait l'objet d'une étude fondée sur les courbes caractéristiques d'émission du fluide. En tenant compte des pertes de charge et de chaleur le long de cette conduite ; ainsi que des conditions de fonctionnement de la centrale à alimenter, on détermine, en fonction de la production du puits le diamètre de la conduite ainsi que l'épaisseur de l'isolant thermique. En introduisant dans le calcul les frais d'installation et d'entretien de la conduite de vapeur, on peut choisir des dimensions qui permettent d'obtenir la rentabilité optimale. Il faut aussi compenser la dilatation thermique à laquelle sont soumises les conduites de vapeur ; notamment dans la phase admissible de dont la température peut atteindre 260°. A cet effet, on utilise ordinairement des portions de conduites disposées en zig-zag, présentant une élasticité adéquate, ce qui permet d'adapter le tracé de la conduite de vapeur à la morphologie du terrain, généralement accidenté dans la région de Larderello. Dans certains cas particuliers, on continue à utiliser des joints de dilatation à soufflet dont l'emploi se révèle cependant plus coûteux au point de vue entretien et installation.

L'épaisseur des tubes est donnée par la relation de Boulliau:

$$E = PD / (2T - 1,14P)$$

Où: E = épaisseur du tube en mm. D = diamètre intérieur en mm.
T : taux de travail du métal en kg/mm^2 . Et P : la pression du fluide.

Le flux ϕ de chaleur de fuite est donné par la relation suivante:

$$\phi = \frac{2l(T_1 - T_2)}{\ln R_2 - \ln R_1}$$

Où: R_1 : est le rayon intérieur, R_2 : le rayon extérieur
 l : la longueur de la conduite, et, T_1 et T_2 respectivement les températures de la face intérieure et de la face extérieure de la conduite.

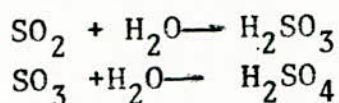
Et si R_3 est le rayon de la couche calorifuge, on aura:

$$\phi = \frac{(T_f - T_a)}{R_2 \left(\frac{1}{L} + \frac{\ln R_3}{R_2} \right)}$$

Où T_a est la température ambiante et T_f est la température du fluide, L est le coefficient de conduction du matériau.

4/TURBINES:

Il est inconcevable d'utiliser des turbines de type classiques dans une centrale géothermoélectrique; et ceci à cause de la composition chimique de la vapeur, et du contenu énergétique de la vapeur qui est relativement bas. Si la vapeur est utilisée telle quelle, elle peut entraîner la dégradation de la turbine (classique); car les dépôts de sels engendrent la corrosion et la destruction des aulages. D'où pour avoir un fonctionnement continu de la centrale, il faut prévoir un entretien continu des turbines, ce qui bien entendu n'est pas économique. Les anhydrides sulfuriques et sulfureux présentent aussi des dangers car ils entraînent l'apparition d'acides suivant les réactions:



L'acide sulfurique a des effets très néfastes sur la turbine. A Larderello on utilise des turbines à vapeur à condensation. Généralement il existe 2 types qui diffèrent par leur puissance: de 12 à 15 Mw et de 26 à 30 Mw.

—Les turbines de 12 à 15 Mw: Il s'agit de machines monocylindriques conçues pour 2 bars à l'admission et 0,1 bars à l'échappement et pour environ 150t/h maximum de vapeur passant à travers la turbine. Chaque turbine possède 2 vannes de prises de vapeur du type à bouchon double siège contrôlé par divers organes de sécurité. Chacune des vannes envoie la vapeur dans la turbine à travers une vanne automatique, elle aussi du type à bouchon à double siège pour régler le débit de vapeur en fonction de la charge électrique. L'ouverture des vannes de réglage est commandée par un régulateur de vitesse à transmission hydraulique des commandes. La turbine est à 2 flux opposés, avec entrée de la vapeur au centre. Le rotor fut construit au début à disques montés à chaud sur un gros pivot central. Aujourd'hui ces machines sont alimentées directement en fluide endogène. Il en résulte qu'à l'extérieur de la centrale

on supprima les batteries de transformateurs de vapeur; source notable de travail et de frais d'entretien. Par contre les pompes alternatives à vide pour l'extraction des gaz dans les condenseurs furent remplacés par des électro-et turbocompresseurs extracteurs, plus puissants. Pour les vannes et en partie pour les cylindres on utilisa des corps en acier coulés et; pour rendre la construction plus compacte; le corps de la vanne fut appliqué au sommet du cylindre de la turbine. Enfin les capacités des forges étant améliorées, les rotors furent construits d'une pièce unique d'acier au chrome molybdène. Dans les groupes les plus récents on introduit la technique qui consiste à placer au début de l'autage un anneau dans lequel le nombre de rangs de pôles pouvait varier pour adapter la turbine aux conditions de la vapeur. Dans récents on introduit aussi l'entraînement du compresseur au moyen de la même turbine principale, et les premiers groupes de ce type furent ceux destinés à la centrale de Lago de 14 et de 8 Mw. L'entraînement avait lieu au moyen d'un joint hydraulique de type vulcan. Le nombre d'heures annuelles de disponibilités, calculé aussi sur des périodes de plusieurs années, est resté élevé et le comportement des machines dans le temps s'est avéré excellent. Les températures, les pressions de vapeur vive, le vide des condenseurs et les tailles des machines ne sont pas à l'origine des problèmes de construction. Les plus grands problèmes naissent de la corrosion sur les aubes, facilement remplaçables là où il est nécessaire surtout si l'on dispose de rotors de réserve interchangeable; ou sur les parties fixes ou mobiles. Ces problèmes sont plus accentués pour les turbines alimentées par de la vapeur contenant des traces plus élevés de chlore (Cl) étant donné que dans la zone de Larderello se trouvent des gisements de sels gemmes. Dans ce cas on peut diluer cette vapeur avec une autre vapeur, pauvre en chlore; ou bien on peut laver la vapeur en amont de la turbine, en réduisant le contenu énergétique; ou on peut accepter certain degré de corrosion dans les machines. La corrosion plus accentuée sur les parties fixes et rotatives

se vérifie dans la zone où la vapeur commence à devenir humide; le chlore étant hautement soluble; en amont dans ces zones il n'y a pas de corrosion. Le milieu étant sec et le chlore diffus, et en aval il n'y a pas de corrosion accentuée étant donné qu'à la suite de l'augmentation de la teneur en humidité la concentration en Cl est réduite. A l'avenir le problème sera résolu par un choix approprié des matériaux dans cette zone des machines.

On a mis l'accent sur l'entraînement du compresseur au moyen de la turbine principale. Cela a été utile du point de vue du coût initial, ou du rendement ou du service. Si l'on excepte les pompes électriques à eau de circulation, qui représentait un gros auxiliaire électrique, les auxiliaires électriques sont à peu près nombreux et de puissance réduite et il est plus facile de faire face à un hors service électrique, même de quelques dizaines de minutes; une fois réalisée une forte réduction du débit d'eau froide passant à travers le condenseur par gravité.

—TURBINES DE 26 à 30 Mw: Le plus récent de ces groupes peut entraîner directement le compresseur extracteur de gaz non condensable: l'entraînement du compresseur a lieu au moyen d'un joint à dents rigides à la torsion; que l'on peut facilement découpler quand il est arrêté, pour qu'il n'y ait pas de pertes de rendement à cause du joint hydraulique. La technique de l'entraînement direct a été définitivement adoptée en Italie.

5/CONDENSEURS A MELANGES.

Depuis plusieurs années, pour éliminer les annuits de corrosion dans les tubes du faisceau tubulaire des condenseurs à surface, on utilise seulement des condenseurs à mélange du type à tube barométrique pour l'évacuation du mélange eau de circulation et condensat. Dans les centrales N°2 et N°3 de Larderello, les condenseurs installés consistaient en 2 chambres cylindriques situées au dessous de chaque échappement des turbines. Dans ces chambres de parcours, des gouttelettes d'eau de circulation a lieu dans la même direction de circulation que le flux de la vapeur. Latéralement à ces 2 chambres passe un réfrigérant des gaz non condensables, du type à contre courant, qui a pour but d'abaisser la température des gaz et de réduire la quantité de vapeur d'eau qui est extraite des compresseurs avec les gaz.

Etant donné le milieu humide et la présence de sels et de gaz, on s'est protégé de la corrosion chimique en utilisant dans certaines zones où la concentration est plus élevée, des corps en fonte ou des corps en tôles protégés par un plombage à gouttes ou de l'acier inoxydable. Dans le but de réduire les possibilités d'engorgement des orifices des gicleurs de l'eau de circulation, on adopta des gicleurs du type à tourbillons, tout en maintenant la structure générale du condenseur. Dans d'autres unités la condensation fut effectuée uniquement dans des corps externes à la centrale ou bien en partie sur un conduit horizontal et le reste à l'extérieur de la centrale. La chaleur transférée dans l'eau de circulation par la condensation de la vapeur est dissipée presque totalement au moyen de l'évaporation d'une partie de l'eau circulant dans les tours. Les installations de Larderello ne disposent pas de sources d'eau de refroidissement qui ne soit de la vapeur précédemment condensée. Il est donc important qu'il y ait pendant toute l'année un excès d'eau dans les tours, afin que la quantité d'eau perdue par évaporation ou par entraînement soit inférieure à la quantité de vapeur condensée dans les condenseurs. Dans ce

Tout on a adopté des réfrigérants à air pour refroidir l'huile de lubrification et de réglage.

B/ PARTIE ELECTRIQUE:

La mise en production de la centrale entrainera l'apparition d'une pollution dans la zone. Ce phénomène est dû au fait que: une partie ou toute la vapeur se dissipera dans l'atmosphère (suivant les cas). Cette pollution aura des conséquences néfastes sur les installations électriques particulièrement au niveau des isolations. Cette pollution se traduit par l'augmentation de la teneur en sels et en gaz de l'atmosphère ainsi que par l'accroissement du taux d'humidité.

En effet lorsque les gouttelettes d'eau se déposent d'une façon non continue sur les isolateurs, et, sachant qu'il existe une ddp entre la ligne et la terre, un champ électrique intense règne au voisinage des isolateurs. Ainsi on voit apparaître des éffluves entre les gouttelettes. En fait l'eau diminue la résistivité superficielle des isolateurs, de même que les sels augmentent la conductivité de ceux-ci. Le dépôt étant continu, la surface de l'isolateur ne sèche pas (car un courant de fuite apparaît, donc la température augmente, d'où l'eau s'évapore; mais un autre dépôt s'en suivra). Mais si la répartition des gouttelettes est uniforme, c'est à dire que la surface de l'isolateur est carrément mouillée, la situation s'aggrave. Dans ce cas on voit apparaître des arcs électriques. Le dépôt de sels augmente davantage la conductivité de la surface de l'isolateur ainsi cette surface devient conductrice d'électricité. Car certains sels sont bons conducteurs. Donc, le dépôt sel-vapeur entrainera des avaries fréquentes (plus exactement des court-circuits) si l'on ne prend pas de mesures. Pour cela l'équipement doit subir des essais aux chocs sérieux, et dans des conditions de pollution rigoureuses. En effet au laboratoire, on doit créer une pollution telle que celle qui se présentera dans la réalité (avec des normes de sécurité).

Pour la protection des isolateurs, plusieurs solutions peuvent être proposées à cet effet:

-Utilisation d'isolateurs anti-pollution dont le lavage se fera périodiquement.

-Graissage périodique des isolateurs.

-Utilisation d'isolateurs de formes plus favorables dont le profil permet la protection d'une partie de la surface isolante.

-Utilisation d'isolateurs en position horizontale ou inclinée de préférence à la position verticale.

Au niveau des jeux de barres, certaines dispositions doivent être prises. L'environnement étant fortement pollué, la résistivité de l'air a baissé à cause de la composition de la vapeur d'échappement. Si le champ électrique (donc la tension de service) est élevé, le risque de voir apparaître des arcs électriques (donc des court-circuits) augmentent. Un tel accident peut causer de grands dégâts.

Quant à l'emplacement de la sous station on doit prendre les mêmes dispositions que pour les centrales classiques en fonction de la pollution (en tenant compte de la direction du vent), et, l'équipement est pratiquement le même. Sauf que dans notre cas la pollution influe beaucoup sur le fonctionnement de la partie électrique.

Par exemple au Mexique (Cierro Pietro en Basse Californie), pour la protection individuelle des tableaux et armoires de contrôle (équipés d'installations électriques standards), on utilise de petits ventilateurs et des systèmes de recirculation à travers des filtres qui absorbent le sulfure d'hydrogène (H_2S).

Choix des appareils:

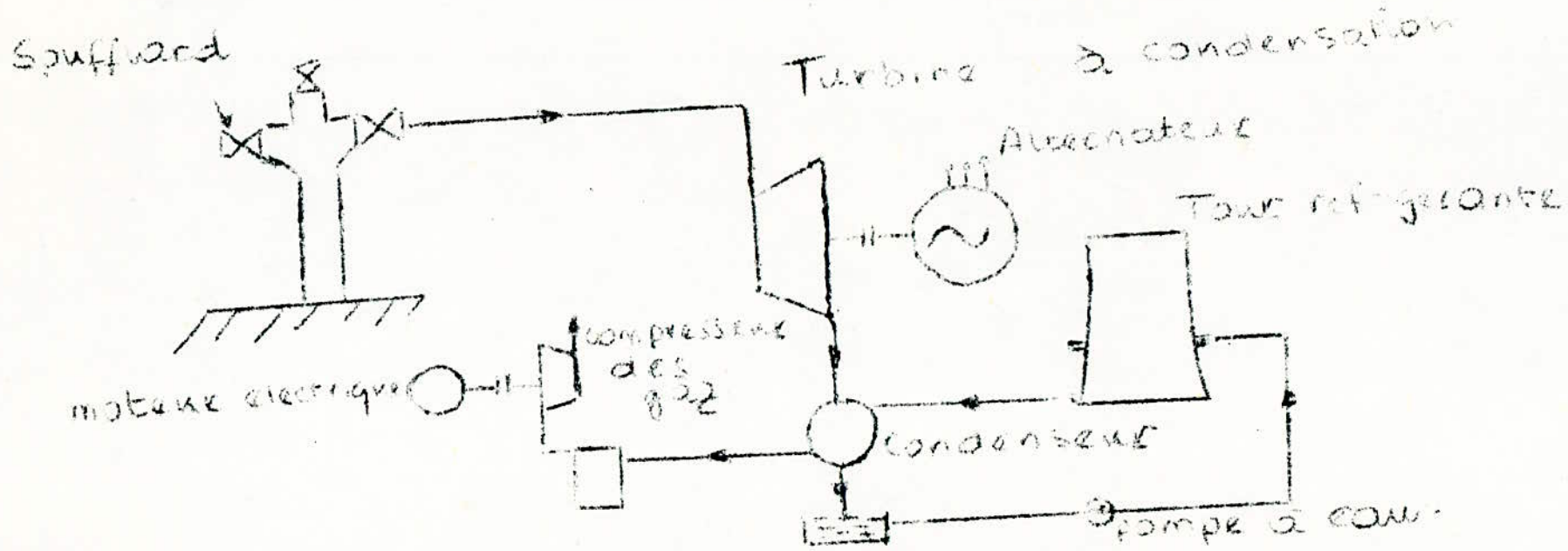
Le choix des appareils, dépend des tensions nominales, des courants nominaux, des courants de coupure et du type de l'installation (extérieure ou intérieure). Ces Appareils sont généralement des sectionneurs, des disjoncteurs etc...

Avec l'utilisation des échangeurs, les Italiens consommaient 14 kg de vapeur/heure à 200°C et sous 5 atm pour 1 kWh produit. Dans les centrales modernes la vapeur est au contraire envoyée directement dans les turbines (il s'agit de la vapeur naturelle). Les échangeurs sont chers, ils sont une importante source de pertes: le rendement de l'installation est donc meilleur. Dans les centrales qu'on a construit jusqu'à nos jours il ne faut que 10 kg de vapeur/heure et sous 5 atm par kw installé pour obtenir une production d'un kWh. Actuellement à The Geysers on obtient de bons résultats: pour 9 kg de vap/h on produit 1 kWh d'énergie électrique. L'amélioration technologique de l'équipement utilisé, le bon calorifugeage des conduites thermiques, l'utilisation de turbines résistantes et à bons rendements, l'absence de machines où les pertes sont élevées (par exemples les chaudières et les échangeurs) permettent aujourd'hui d'aboutir à de meilleurs résultats. Par exemple à Larderello, le kWh produit nécessite une consommation de 7 kg de vapeur/heure sous une pression de 5 atm et une température de 500°C en moyenne. L'amélioration qualitative a également permis d'augmenter le nombre d'heures de fonctionnement des centrales: à Wairakei en Nouvelle Zélande la centrale géothermique fonctionne 7000 heures par années; à Larderello, elle fonctionne pendant 8000 heures par années. Ce taux est très élevé. Dans certains cas, un surchauffage de la vapeur devient nécessaire (pour la sécher). Car il est difficile d'obtenir de la vapeur naturelle sèche, et, elle risque de se condenser dans les conduites; elle est aussi proche de la cloche de saturation. Mais le processus présenté n'est pas le seul principe. Il existe le principe dit du cycle binaire: celui-ci utilise des échangeurs (et dans ce cas on ne peut mieux faire). On utilise un fluide à bas niveau d'ébullition (par exemple: le fréon, le butane...) que l'on chauffe avec de la vapeur naturelle dans les échangeurs on arrive à entraîner la turbine. En effet la vapeur du fluide est réchauffée par la vapeur naturelle (dont la température

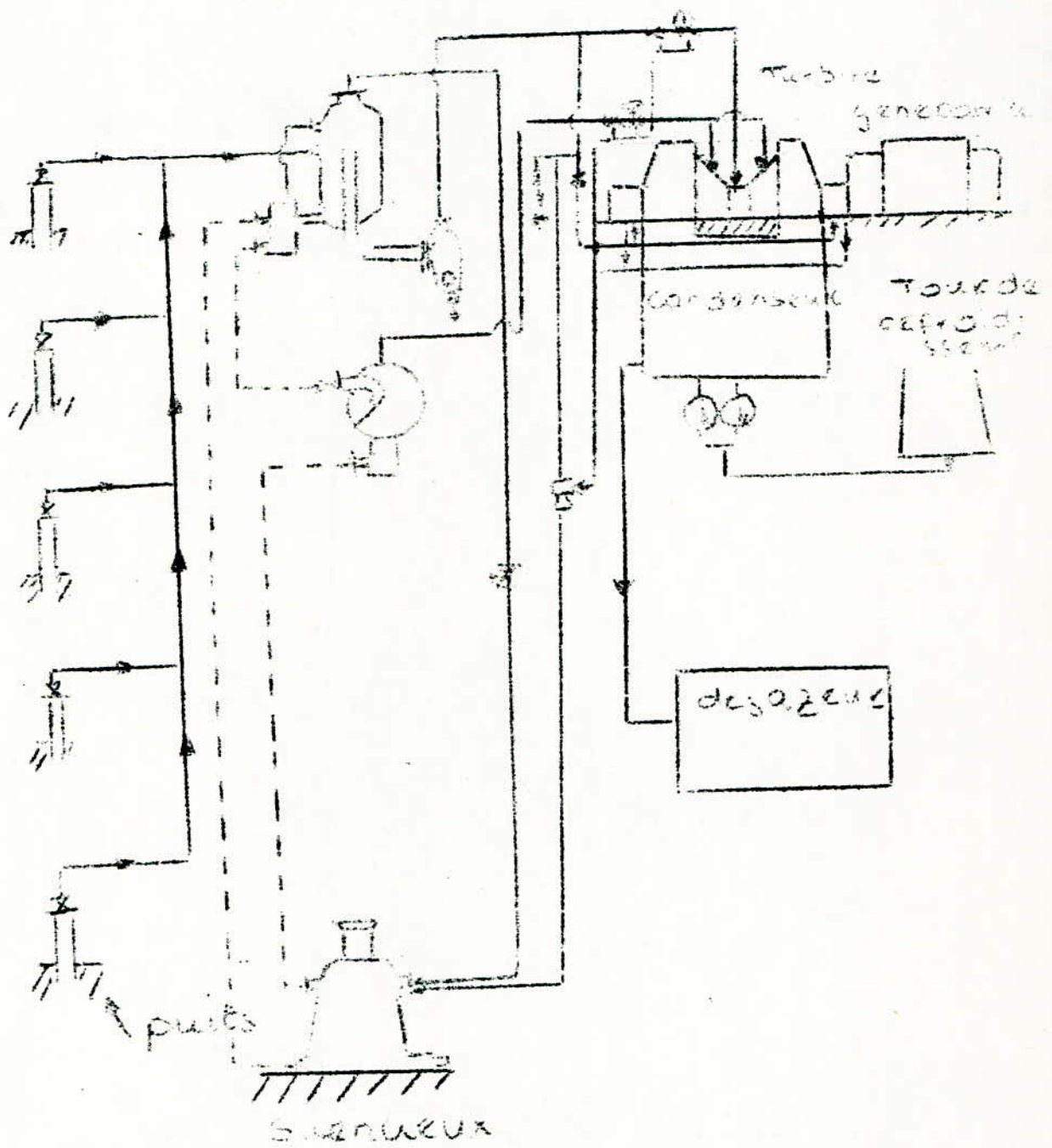
est proche de 100° C dans des échangeurs de chaleur. Ainsi ce cas existe près de Pékin en Chine, et une centrale analogue a fonctionné pendant plusieurs années au Shata (EX: Katanga), avec un fluide naturel dont la température était de 99° C. Il est évident que le coût, ici, est plus élevé; mais si on a utilisé des groupes diésel, dans cette zone isolée et éloignée, vu le prix du transport du carburant, cette solution s'est avérée économique.

On note également que l'utilisation des condenseurs s'est avérée très rentable; car pour avoir 1MW avec l'utilisation d'un condenseur, on consomme 10t de vapeur, alors que sans celui-ci la consommation sera de 20t de vapeur. De plus le condenseur en temps qu'élément de refroidissement, augmente le rendement thermique de l'installation.

Il faudra aussi tenir compte, des effets de la corrosion. Car durant la marche de la centrale, les dépôts de sels dans les différentes parties de l'unité deviennent encombrants. Pour cela, un nettoyage périodique est nécessaire. Et c'est pratiquement l'entretien, qui représente, le coût du KWH produit (qui d'ailleurs n'est pas élevé). Les dépôts sont énormes (cas de The Geysers), on tire de grandes quantités de sels surtout dans les conduites. Une partie du coût va vers la reinjection de la vapeur condensée. Dans la plus part des centrales, la vapeur échappée est reinjectée dans le réservoir. Pour cela, on utilise un équipement, qui est entretenu, et qui demande de l'énergie pour fonctionner.



Scénario de l'utilisation de la
vapeur à Larderello (Italie)



Cycle double flash [usine de Hatchobaru
Japon 50 Mw]

APPLICATION

Hamman Meskoutine est le champ thermal le plus important d'Algérie. Son champ thermal est composé de plusieurs sources dont la température varie entre 35° C et 98° C suivant les sources, et le débit est estimé entre 3 et 6 m^3 , et ceci à la surface.

Une société française (EURAFREP) a étudié le terrain en 1966. Les études faites par cette société confirment que toutes les analogies relevées au fur et à mesure avec la Toscane constituent un élément de première importance.

"La grande quantité de gaz carbonique (CO_2) observée dans les eaux de Hamman Meskoutine ne peut avoir son origine dans les calcaires aptiens qui en constituent probablement le réservoir. Elle doit avoir une origine bien plus profonde dans la zone où les sédiments anciens sont en train de se métamorphiser. Le CO_2 migrerait de cette zone vers le trias. Il faut alors admettre qu'il y aurait fuite de gaz et de vapeur du Trias. Vers l'Aptien le réchauffement de l'eau du réservoir supérieur étant dû en partie à la conduction à travers la couverture du Trias et en partie aux fluides chauds. Une étude géochimique complémentaire pourrait permettre de confirmer ce fait. On arriverait alors à conclure que le Trias ne peut pas être profond, car, s'il l'était il ne serait pas possible de justifier les mouvements des fluides à travers une couverture très épaisse.

Quelques sondages électriques devraient, de leur côté, donner des renseignements sur l'existence et la profondeur du réservoir Aptien".

Les sondages effectués par Eurafrep n'ont pas atteint 400 m de profondeur. Mais elle a constaté une certaine identité géologique avec la zone de la Toscane (où se trouve le grand gisement de Larderello). De plus ces études ont permis de conclure que le réservoir géothermique existe, et est situé aux alentours de 1000 m de profondeur. Ce qui est d'ailleurs le cas à Larderello, pour la majorité des puits. En un endroit du champ on est arrivé à capter une eau à une température supérieure à 100° C sous 18 m de profondeur seulement. Ce qui laisse supposer que les de chaleur sont différentes d'un endroit à un autre. A Hamman Meskoutine, il existe même un geisiers: c'est un jet de vapeur intermitents.

De son côté le réservoir est sûrement d'après eurafrep à une température supérieure à 250° C.

De ce fait, si on fore un puits on aura une température d'au moins 250° C. et on prendra 250° C. pour les calculs. Cette température est moyenne pour les gisements géothermiques. Quant à la pression vu que nous l'imposons, et en tenant compte de la température du fluide, on impose pour le circuit thermique la pression de 5 bars que l'on retrouve généralement dans ce type de centrales. Le débit des puits de Larderello, arrive jusqu'à 300t/h. A Hammam Meskoutine le débit des sources est très intéressant, ceci laisse prévoir, dans une certaine mesure, que le débit d'un puits foré, sera élevé. On prendra 200t/h pour notre cas. On voudrait avec ces données avoir une approximation de la puissance d'un groupe que l'on voudrait installer.

Données: $T_1 = 250^\circ\text{C}$ $P_1 = 5\text{b.}$ $I = 200\text{ t/h}$

$P_2 = 0,1\text{ b}$ (P_2 est la pression dans le condenseur, où un certain vide doit régner).

Les enthalpies correspondantes sont:

$$i_1 = 2960\text{ kJ/kg de vapeur}$$

$$i_2 = 2250\text{ kJ/kg de vapeur}$$

La chute d'enthalpie entre ces 2 points est:

$$DH = i_1 - i_2 = 2960 - 2250 = 710\text{ kJ/kg de vapeur}$$

Avec le débit de $I = 200\text{ t/h} = 2 \cdot 10^5\text{ kJ/h}$

$$\text{On aura alors : } DH_t = 710 \cdot 2 \cdot 10^5 = 142 \cdot 10^6\text{ kJ/h}$$

Ce qui correspond à $DH_t = \frac{142 \cdot 10^6}{3600} = 4 \cdot 10^4\text{ kw} = 40\text{MW.}$

L'énergie disponible dans les 200 tonnes de vapeur est dans notre cas de 40 Mw.

Dans le séparateur, si on suppose que les pertes sont de l'ordre de 5% on aura à la sortie de ce séparateur une puissance de:

$$DH_s = \frac{40 \times 95}{100} = 38 \text{ Mw.}$$

Dans les conduites on aura également des pertes que l'on estime à 5%. Donc le rendement des tuyauteries sera de 95%.

$$DH_c = \frac{38 \times 95}{100} = 36,1 \text{ Mw.}$$

Au niveau de la turbine qui a généralement un rendement de 75%, on doit avoir (en tenant compte de ce rendement) une puissance utile de:

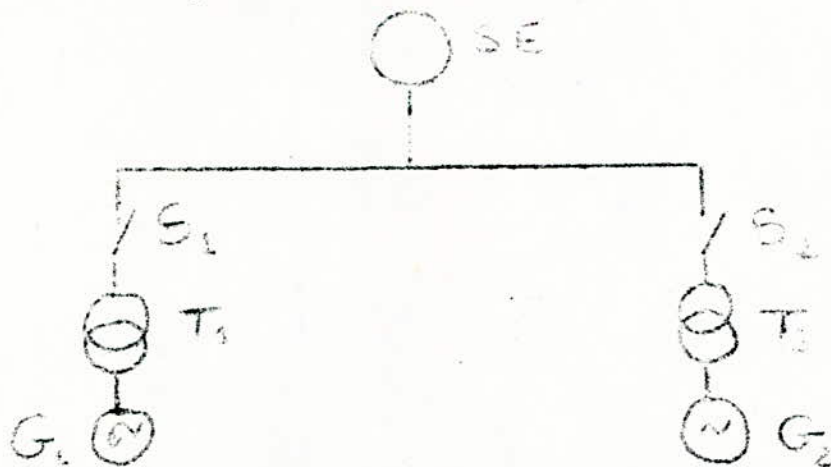
$$DH_t = \frac{36,1 \times 75}{100} = 27 \text{ Mw approximativement.}$$

Donc la puissance utile à l'arbre de la turbine est de 27 Mw, cette puissance doit être transmise entièrement à l'alternateur dont on prend le rendement égal à 96%.
D'où la puissance électrique aux bornes de l'alternateur est

$$P_e = \frac{27 \times 96}{100} = 25,92 \text{ Mw}$$

Pour simplifier on prendra 26 Mw.

Pour des raisons stratégiques on installe 2 groupes de 26 Mw chacun, pour cela on doit forer 2 puits. La disposition des machines électriques est la suivante:



Les 2 alternateurs sont connectés au réseau national, car une puissance de 52 Mw est un appoint non négligeable en énergie.

Le calcul qui vient d'être fait est très approximatif. Il a été fait dans le but d'évaluer la puissance qui correspond à nos données, et, d'évaluer les courants de court circuit. Car les court circuits sont des avaries qui ont des conséquences très graves pour le fonctionnement des systèmes (stabilité, tension, fréquence.). On doit les étudier pour prendre les meilleures décisions concernant les types d'équipement et pour l'organisation générale du système. Dans notre cas, les risques d'apparition des court circuits, sont très probables à cause de la teneur en humidité qui est relativement élevée.

- CALCUL DES COURT-CIRCUITS:

Pour simplifier le calcul des courants de court-circuits on utilise un système de grandeurs réduites. Dans ce calcul les 4 paramètres utilisés sont généralement: S, U, I, et X.

La base que nous utiliserons est : $S_b = 100$ MVA, et $U_b = 10$ KV.

L'équipement utilisé est constitué:

- D'un alternateur dont les caractéristiques sont les suivantes:

$$U_n = 10 \text{KV}, \quad \cos \varphi = 0,8 \quad X_g = 12,5\% \quad P_n = 26 \text{MW}$$

$$S_n = \frac{P_n}{\cos \varphi} = \frac{26}{0,8} = 32,5 \text{MVA.}$$

- UN TRANSFORMATEUR:

$$S_{nt} = 32,5 \text{MVA} \quad U_{n1} = 10 \text{KV (côté primaire)} \quad U_{n2} = 60 \text{KV (côté secondaire)}$$

tension de court-circuit: 6% (ou 0,06);

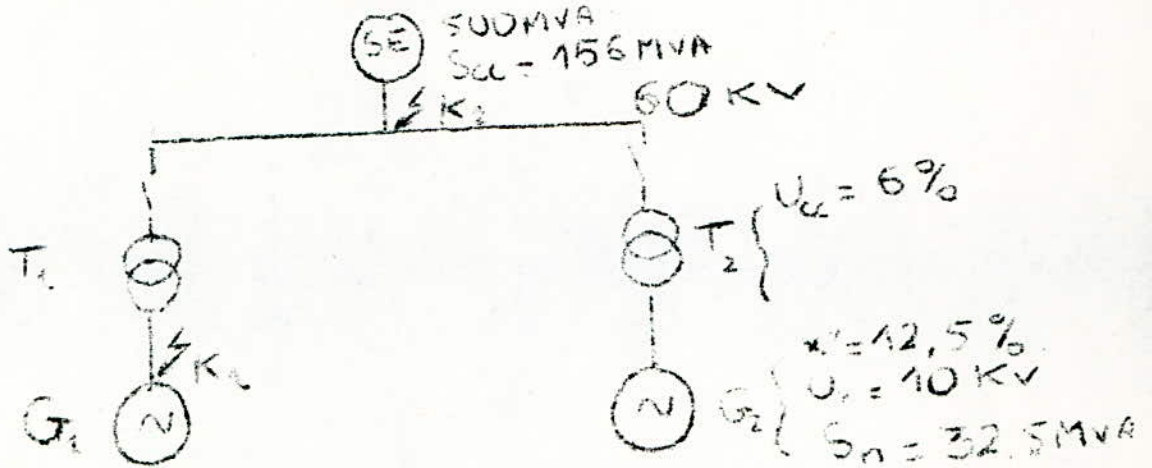
Ceci pour chaque groupe. (nous rappelons qu'il y a 2 groupes).

Le système énergétique a une puissance de court-circuit de 156MVA

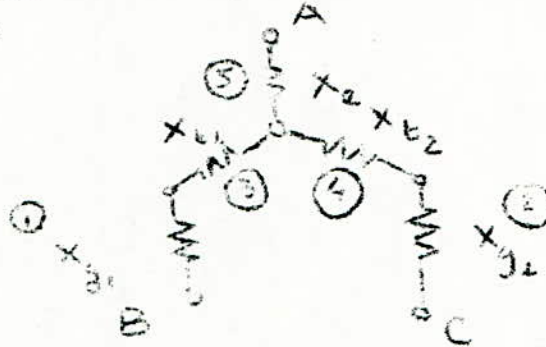
$$S_{cc} = 156 \text{MVA.}$$

A l'aide de ces données on déduit la valeur du courant de base:

$$I_b = \frac{S_b}{3U_b} = \frac{100}{3 \cdot 10} = 3,3 .$$



En remplaçant les machines par leur réactance on déduit le schéma suivant:



où: E'' tension surtransitoire du générateur (réduite).

$$E'' = \frac{1,1 U_n}{U_b} = 1,1 \text{ car } U_n = U_b ;$$

-La réactance du transformateur est égale à la tension de court-circuit:

$$X_{t1} = X_{t2} = 6\% = 0,06 .$$

Alternateur:

$$X''_{g1} = X''_{g2} = 12,5\% = 0,125 ;$$

CALCUL DES REACTANCES REDUITES:

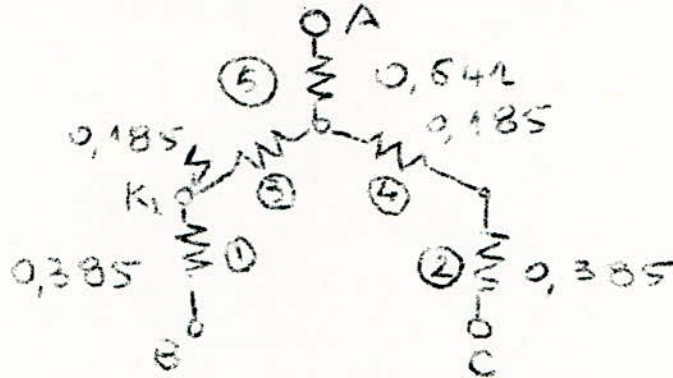
$$X^*_{g1} = X^*_{g2} = X''_g \frac{S_b}{S_g} = 0,125 \cdot \frac{100}{32,5} = 0,385$$

$$X^*_{t1} = X^*_{t2} = X''_t \frac{S_b}{S_t} = 0,06 \cdot \frac{100}{32,5} = 0,185$$

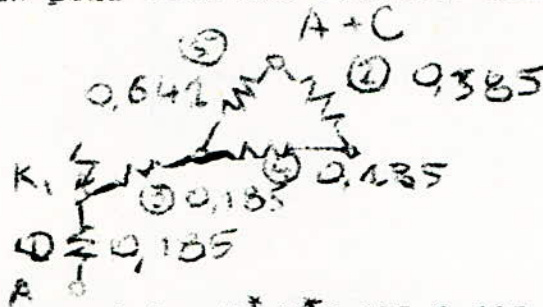
$$S_{cc} = 156 \text{ MVA}$$

$$X^*_e = \frac{S_b}{S_{cc}} = \frac{100}{156} = 0,641$$

Le schéma devient (avec les valeurs réduites):



Si on suppose que les générateurs ont leur neutre au même potentiel, on peut donc les relier. D'abord les points A et C.



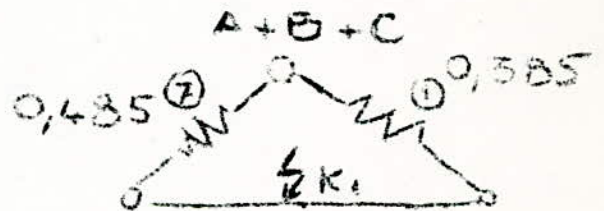
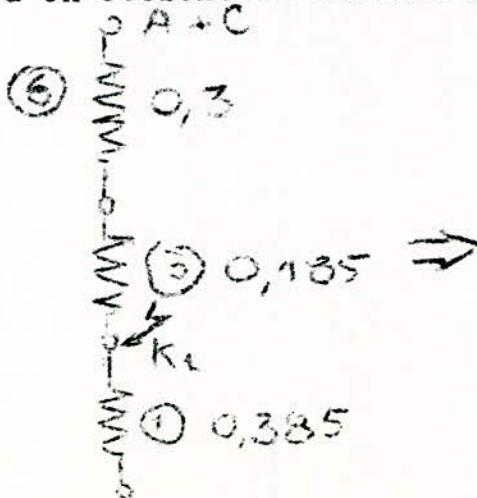
2 et 4 sont en série: $X_2 + X_4 = 0,385 + 0,185 = 0,570$.

5 et (2+4) sont en parallèle: et donne 6.

$$\frac{0,57 \cdot 0,642}{0,642 + 0,570} = 0,3$$

$$0,642 + 0,570$$

D'où on obtient un nouveau schéma:



D'où la réactance équivalente du système est:

$$X_s^* = \frac{0,485 \cdot 0,385}{0,870} = 0,215 \text{ en reliant les points A, B et C.}$$

Le courant de court-circuit surtransitoire réduit en K_1 :

$$I_{K1}'' = \frac{E''}{X_s^*} = 1,1 / 0,215 = 5,12$$

- Courant de court-circuit surtransitoire réduit en X_1^* :

$$I_{g1}'' \cdot X_1^* = X_s^* \cdot I_{K1}''$$

$$I_{g1}'' = \frac{X_s^* \cdot I_{K1}''}{X_1^*} = 1,1 / 0,385 = 2,86;$$

I_{g1}'' est le courant de court-circuit surtransitoire donné par le générateur G_1 .

- Courant de court-circuit surtransitoire réduit dans $(6+3)=7$:
Soit I_7'' ce courant:

$$I_7'' \cdot X_7^* = I_{K1}'' \cdot X_s^*$$

$$I_7'' = \frac{I_{K1}'' \cdot X_s^*}{X_7^*}$$

$$I_7'' = \frac{1,1}{0,485} = 2,27$$

Avec : $I_3'' = I_6'' = I_7''$; car (3) et (6) sont en série.

X_2^* et X_4^* étant en série, on déduit que: $I_2'' = I_4''$

$$X_6^* \cdot I_6'' = (X_2^* + X_4^*) I_2''$$

$$I_2'' = \frac{X_6^* \cdot I_6''}{X_2^* + X_4^*} = \frac{0,3 \cdot 2,27}{0,385 + 0,185} = 1,2$$

Courant de court-circuit surtransitoire réduit en X_5^* :

$$X_5^* \cdot I_5'' = X_6^* \cdot I_6''$$

$$I_5'' = \frac{X_6^* \cdot I_6''}{X_5^*} = \frac{0,3 \cdot 2,27}{0,641} = 1,1$$

$$I_{K1}'' = 5,12$$

$$I_{g1}'' = 2,86$$

$$I_2'' = I_4'' = 1,2$$

$$I_5'' = 1,1$$

$$I_3'' = 2,27$$

-Calcul des courants de court-circuit:

-Courant de court-circuit surtransitoire donné par la génératrice G_1 :

$$I''_{g1} = \tilde{I}''_{g1} \cdot I_T = 3,3.2;86 = \underline{9,54 \text{ KA}} \text{ (côté 10 KV)}$$

-Courant de court-circuit surtransitoire donné par le générateur G_2 :

$$I''_{g2} = \tilde{I}''_{G2} \cdot I_T = 1,2.3,3 = 4 \text{ KA (côté 10 KV).}$$

-Courant de court-circuit surtransitoire donné par le système énergétique:

$$I''_5 = \tilde{I}''_5 \cdot I_T = 1,1.3,3 = 3,67 \text{ KA (côté 10 KV).}$$

-Courant surtransitoire traversant X_3 :

$$I''_3 = \tilde{I}''_3 \cdot I_T = 2,27.3,3 = 7,57 \text{ KA (côté 10 kv).}$$

Ces courants sont donnés pour le côté 10 kv du transformateur (c'est à dire le côté primaire).

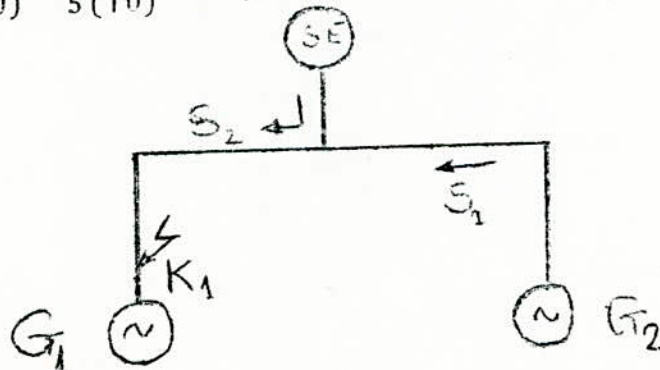
Pour le côté 60 kv (c'est à dire le côté secondaire), on aura en tenant compte du fait que:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{60}{10} = 6$$

$$- I''_3(60) = I''_3(10) : 6 = 7,57 : 6 = 1,26 \text{ KA}$$

$$- I''_4(60) = I''_4(10) : 6 = I''_{g2} : 6 = 4 : 6 = 0,67 \text{ KA}$$

$$- I''_5(60) = I''_5(10) : 6 = 3,67 : 6 = 0,62 \text{ KA}$$

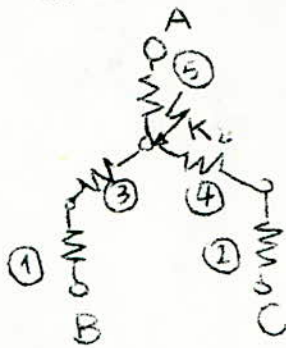


D'après le schéma ci-dessus, pour un court-circuit K_1 se produisant aux bornes d'un alternateur, on doit avoir 2 sections pour les jeux de barres: S_1 et S_2 . S_1 sera parcourue par: 0,67 KA.

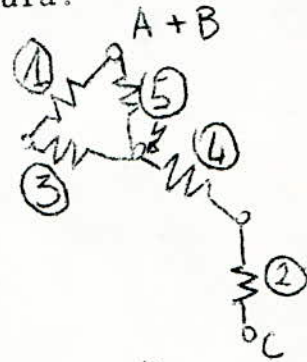
Car la section S_1 est traversée par I''_{g2} . Quant à la section S_2 elle est traversée par: $I''_{g2} + I''_5 = 0,67 + 0,62 = 1,29$ KA. Ainsi les jeux de barres doivent être dimensionnés en fonction de ces courants de court-circuit.

Remarque: étant donné la symétrie du circuit, on déduit que le dimensionnement des jeux de barres se fera en fonction du courant: $I''_{G2} + I''_5 = 1,29$ KA.

—ETUDE DU COURT-CIRCUIT AU POINT: K_2 .



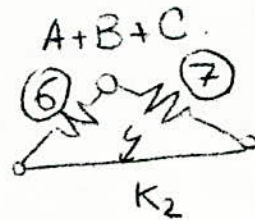
en reliant les points A et B on aura:



X_5^* et $(X_1^* + X_3^*)$ sont en parallèle, et, donne X_6^* :

$$X_6^* = \frac{X_5^* (X_1^* + X_3^*)}{X_1^* + X_3^* + X_5^*} = \frac{0,36537}{1,211} = 0,3$$

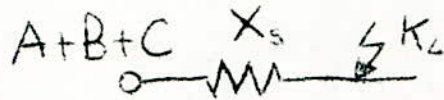
le schéma devient:



X_2^* et X_4^* sont en série: $X_7^* = X_2^* + X_4^* = 0,385 + 0,185 = 0,57$.

X_6^* et X_7^* SONT EN PARALLELE et donne X_s^* :

$$X_s^* = \frac{0,57 \cdot 0,3}{0,87} = 0,2$$



- Courant de court-circuit surtransitoire réduit en K_2 :

$$I''_{k2} = \frac{E''}{X_s} = \frac{1,1}{0,2} = 5,5$$

- Courant de court-circuit surtransitoire réduit en X_7^* :

$$I''_7 \cdot X_7^* = X_s^* \cdot I''_{k2} \quad ; \quad I''_7 = \frac{X_s^* \cdot I''_{k2}}{X_7^*} = \frac{0,2 \cdot 5,5}{0,57} = 1,93$$

- Courant de court-circuit surtransitoire réduit en X_6^* :

$$I''_6 \cdot X_6^* = X_s^* \cdot I''_{k2} \quad ; \quad I''_6 = \frac{X_s^* \cdot I''_{k2}}{X_6^*} = \frac{1,1}{0,3} = 3,67$$

- Courant de court-circuit surtransitoire réduit en: X_2^* et X_4^* :

$$I''_2 = I''_4 = I''_7 = 1,93$$

- Courant de court-circuit surtransitoire réduit en X_5 :

$$I''_5 \cdot X_5 = I''_6 \cdot X_6^* \quad ; \quad I''_5 = \frac{I''_6 \cdot X_6^*}{X_5} = \frac{3,67 \cdot 0,3}{0,641} = 1,718$$

- Courant de court-circuit surtransitoire réduit dans: X_1^* et X_3^* :

$$I''_1 = I''_3 = I''_7 = 1,93$$

- Courants de court-circuit surtransitoires réels:

$$I''_{g1} = I''_{g2} = I''_{g1} \cdot I_f = 1,97 \cdot 3,3 = 6,5 \text{ KA (côté 10 KV).}$$

Dans les réactances: X_3 et X_4 :

$$I''_3(60) = I''_4(60) = I''_3(10) \cdot \frac{1}{5} = 1,1 \text{ KA}$$

courant réduit dans X_5 :

$$I''_5(60) = I''_5(10) / 6 = \frac{1,718 \cdot 3,3}{6} = 0,96 \text{ KA}$$

CHOIX DE L'APPAREILLAGE:

- 1/ Choix des disjoncteurs: Il se fait en fonction de :
- La tension nominale (qui est la tension nominale du système)
- Du courant nominal.
 - Du type d'installation (intérieure ou extérieure).
 - Le courant de coupure (cas de court-circuit).
- Choix des sectionneurs: Il se fait à l'aide des caractéristiques suivantes:
- tension nominale;
 - courant nominale;
 - type d'installation (intérieure ou extérieure).

-PROTECTION DE LA STATION ELECTRIQUE:

Il existe 2 types de ces protections:

- Les protections externes:qui protègent une installation contre les contraintes anormales dont l'origine est extérieure à cette installation.Elle provoquent un "déclenchement partiel":installation séparée du réseau accidentée,mais restant sous tension.
- Les protections internes:En cas d'avarie de matériel ces protections limitent les conséquences de ces avaries en isolant la partie de l'installation où le défaut s'est produit.Elle provoquent un "déclenchement total":l'installation protégée se trouve isolée de source de courant.

Un réseau électrique est divisé en zone de protection,limitées par des disjoncteurs ;chaque zone comporte des dispositifs de protection nécessaires à l'élimination par ses propres disjoncteurs des défauts qui peuvent l'atteindre.On peut craindre la défaillance d'un dispositif de protection ou d'un disjoncteur et on est conduit à installer des protections de "secours" qui agissent sur le même défaut que la protection normale.Quelquefois la protection secours agit sur les disjoncteurs d'une zone voisine.

-Protection de l'alternateur:

L'alternateur est composé: :

- d'un rotor:qui est entraîné par la turbine,et qui est excité par un courant continu.
 - d'un stator fixe,à l'intérieur duquel tourne le rotor.Il est constitué essentiellement de bobines montées sur un circuit magnétique.Ces bobines seront parcourues par un courant produit par induction,et elles sont reliées au réseau sur lequel est évacuée l'énergie électrique produite.
- Les isolants qui subissent des contraintes,sont les parties les plus touchées par les avaries.Cette vulnérabilité a plusieurs origines:

-d'ordre mécanique: Efforts centrifuges exercés sur les conducteurs du rotor(à la suite de la rotation), vibration des conducteurs, efforts électrodynamiques s'exerçant entre les conducteurs, efforts due à la déformation des conducteurs par variation de température.

-d'ordre thermique: Sous l'effet d'un échauffement exagéré, les isolants se dégradent(ceci est du à des surcharges prolongées ou à des défauts de refroidissement).

-d'ordre électrique: sont essentiellement des surtensions provoquées par des manoeuvres, ou d'origine atmosphériques.

Un alternateur est équipé de nombreuses protections qui se complètent mutuellement. D'une façon générale:

-Les protections provoquent l'ouverture du disjoncteur de liaison au réseau.

-Quand une protection "externe" fonctionne, l'alternateur demeure sous tension, mais alimente toujours les services auxiliaires.

-Le fonctionnement de la protection "interne" provoque le déclenchement total de l'alternateur(éxcitation coupée rapidement...)

Les alternateurs sont protégés contre les avaries suivantes:

-Court-circuit entre conducteur et masse(la masse est constituée par toute la pièce métallique de la machine).

-Court-circuit entre phases.

-Court-circuit entre spires de l'enroulement sur une même phase.

-Court-circuit extérieur non éliminé.

-Surtension.

-Déséquilibre de charge.

-Surcharge.

Ceci pour le stator.

Pour le rotor:

-Masse sur le circuit d'excitation.

-Ouverture accidentelle du circuit d'excitation.

Protection de l'alternateur:

+Protection différentielle longitudinale: protège la machine contre les défauts entre phases dans la zone comprise entre les transformateurs de mesure.

- +Masse stator:protège la machine contre les défauts à la masse.
- +Survitesse/Protection mécanique au niveau de la turbine.
- +Pour les court-circuits entre les phases du stator, on utilise des protection différentielles longitudinales.

-PROTECTION INTERNE DE L'ALTERNATEUR:

-Protection différentielle stator:Cette protection détecte les défauts entre phases d'un alternateur. La protection différentielle contrôle l'égalité des courants à l'entrée et à la sortie de chaque phase de l'alternateur.

Un relais est branché de façon à recevoir la différence des courants, d'où le nom de la protection.

+Protection de masse rotor:Le circuit d'excitation de la machine synchrone n'est pas relié à la terre, donc une mise à la terre (ou à la masse) accidentelle de ce circuit ne produit pas un court-circuit. Par contre une 2^{ème} mise à la masse produit un court-circuit; qui a pour conséquences un déséquilibre et des vibrations. Ainsi la 1^{ère} mise à la masse doit être signalée par un dispositif d'alarme approprié.

Le détecteur de mise à la masse du rotor fonctionne non seulement pour une mise à la masse du rotor, mais aussi pour une masse ou une baisse importante de l'isolement surtout les circuits raccordés au rotor: câbles de liaison, ...

-CALCUL DU DISJONCTEUR:

Le courant de déclenchement du disjoncteur est donné par:

$$I_d = I_{max} \cdot k$$

$$\text{Où } k = Y\left(\frac{I''}{I_{gn}}, t_d\right)$$

Avec:

I_d : courant de déclenchement

I_{gn} : courant nominal du générateur.

t_d : temps de déclenchement du disjoncteur.

$$(t_d = 0,25 \text{ s})$$

$$I''_g = 9,54 \text{ KA,}$$

$$I_{gn} = 3,25 \text{ KA}$$

$$\frac{I''}{I_{gn}} = \frac{9,54}{3,25} = 2,63 .$$

Le diagramme indique une valeur de μ de 0,84.

$$\mu = 0,84 .$$

$$I''_{ccmax} = 1,26 \text{ KA}$$

$$I_d = I''_{ccmax} \cdot \mu = 1,26 \cdot 0,84 = 1,06$$

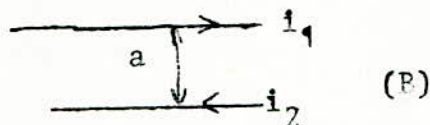
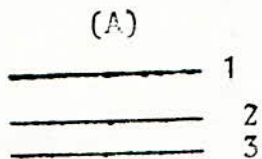
D'où on détermine le courant de coupure: I_{coup} ,

$$I_{Coup} = I_d + I_d \cdot 20\% = 1,06 + 0,212 = 1,272 \text{ KA} .$$

On prend 20% en plus pour des raisons de sécurité.
Donc le courant de coupure est:

$$I_{coup} = 1,272 \text{ KA} .$$

-VERIFICATION DE LA STABILITE DYNAMIQUE:



Si on considère les jeux de barres, lors du passage du courant des forces dynamiques vont apparaître.

Soient: f_1 : la force exercée par les conducteurs 2 et 3 sur le conducteur 1 .

f_2 : la force exercée par les conducteurs 1 et 3 sur le conducteur 2 .

f_3 : la force exercée par les conducteurs 1 et 2 sur le conducteur 3 .

Par symétrie

$$f_1 = f_3$$

Par ailleurs les courants en régime nominal sont:

$$\begin{aligned} i_1 &= I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) \\ i_2 &= I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi - \frac{2\pi}{3}) \\ i_3 &= I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned}$$

où ϕ est le déphasage entre la tension U et l'axe des temps
 ϕ_1 est le déphasage entre la tension U et le courant I.
 Si $\phi = 0$, les équations se simplifient et deviennent:

$$\begin{aligned} i_1 &= I_m \sin(\omega t) \\ i_2 &= I_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_3 &= I_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned}$$

Donc:
$$f_1 = f_3 = \frac{\mu_0 I_m^2}{2a\pi} \sin \omega t \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + 1/2 \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

$$f_2 = -\frac{\mu_0 I_m^2}{2a\pi} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) (\sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) - \sin \omega t).$$

La force est maximum pour la valeur de t qui annule la dérivée

$$\frac{df}{dt} = 0 \quad \text{pour cette valeur de t, la force f est maximum.}$$

Calculs faits on obtient:

$$f_{1\max} = 0,87 \frac{\mu_0 I_m^2}{2a\pi} = f_{3\max}$$

$$f_2 = 0,87 \frac{\mu_0}{2a\pi} I_{\max}^2$$

On constate donc que $f_1 = f_3$ est inférieure à f_2 .

Les contraintes étant calculées, on détermine alors le dimensionnement des jeux de barres. (A l'aide des notions de résistance de matériaux).

PROTECTION DES TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE:

a/Généralités: Un transformateur comporte comme un alternateur des bobines montées sur un circuit magnétique et on retrouve pour le transformateur les mêmes problèmes de tenue des isolants que pour le stator d'un alternateur. La différence entre les 2 est que le transformateur est statique (pas d'organes mobiles). Toutes les protections du transformateur commandent l'ouverture du disjoncteur côté haute tension, sur la liaison au réseau. Lorsqu'il s'agit d'une protection "externe" le transformateur reste sous tension, aux bornes de l'alternateur. Lorsqu'une protection interne fonctionne, elle provoque également l'ouverture du disjoncteur côté basse tension ou dans le schéma bloc alternateur-transformateur la déséxcitation de l'alternateur. Les protections internes provoquent le fonctionnement de toutes les sécurités sur la partie thermique.

Les transformateurs sont protégés contre les défauts ou contre les anomalies de fonctionnement suivants:

-Incidents du réseau:

- court-circuits,
- surcharges,
- surtensions.

-Défauts à l'intérieur de la cuve:

- amorçage entre un conducteur de connexion ou une spire et la masse: cuve ou circuit magnétique (court-circuit),
- amorçage entre spires d'un même enroulement (court-circuit),
- amorçage entre tôles du circuit magnétique mal isolées entre elles,
- coupure de l'enroulement.

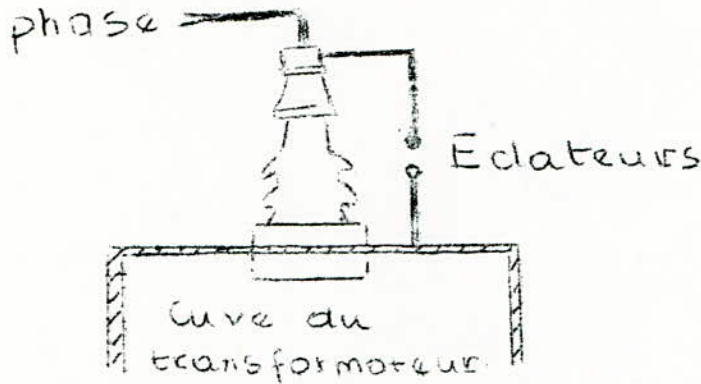
-Défauts à l'extérieur de la cuve:

- sur la cuve elle-même par contournement ou avarie d'une borne de traversée ou par amorçage d'un éclateur,
- entre le transformateur et ses disjoncteurs d'isolement ou dans les disjoncteurs eux-mêmes (ces parties de l'installation formant un bloc avec le transformateur du point de vue de la protection).

Protections externes: à fréquence.

-Protection contre les surtensions élevée: (foudres, manoeuvres de disjoncteurs): Elles sont dangereuses pour les transformateurs. Les ondes de surtension viennent "frapper" les entrées de bobines, on protège le transformateur par l'un des procédés suivants:

- a/soit par des dispositions constructives internes,
- a/soit par des éclateurs généralement placés entre l'entrée des traversées isolantes du transformateur et la cuve ou aux bornes d'une chaîne d'isolateurs.



Protection contre les surtensions à fréquence industrielle: on n'utilise pas de protections spéciales, mais le transformateur est conçu en conséquence.

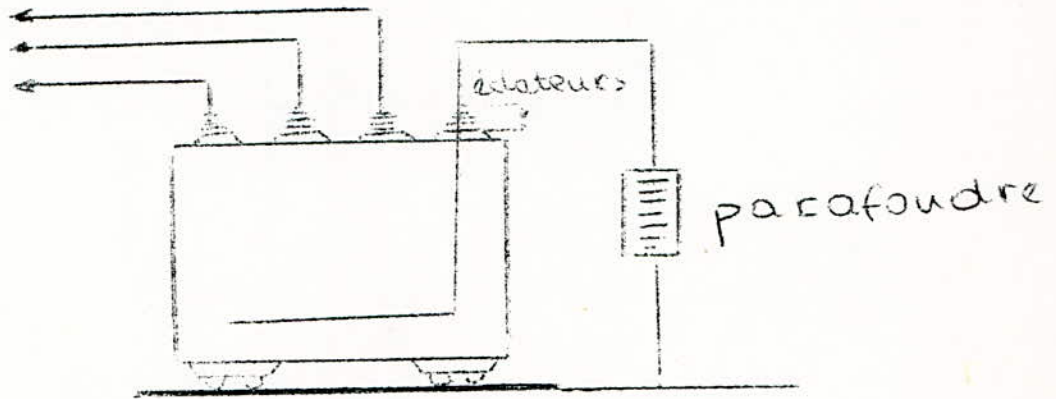
Protection contre les surtensions au point neutre:

Les transformateurs principaux de centrales fonctionnent le plus souvent avec neutre isolé.

Le neutre peut se trouver porté à une tension supérieure à celle pour laquelle il a été isolé. La protection est assurée par:

-Par parafoudre placé sur le neutre et fonctionnant pour une tension un peu inférieure à la tension nominale d'isolation du neutre,

-Par éclateur placé sur la borne du neutre et faisant fonctionner la protection "cuve".



Protection contre les court-circuits extérieurs:

Un transformateur parcouru par une très forte surintensité verra sa température augmenter très vite et atteindre en quelques minutes une valeur très élevée sans que la température de l'huile ait beaucoup changé (à cause de l'inertie thermique de l'huile). Si le transformateur principal n'est pas protégé contre les courants de court-circuits externes, il est indirectement protégé par les protections de l'alternateur.

-Protection contre les surcharges, et, protection thermique: Ces protections fonctionnent seulement en signalisation; car on tolère une surcharge momentanée.

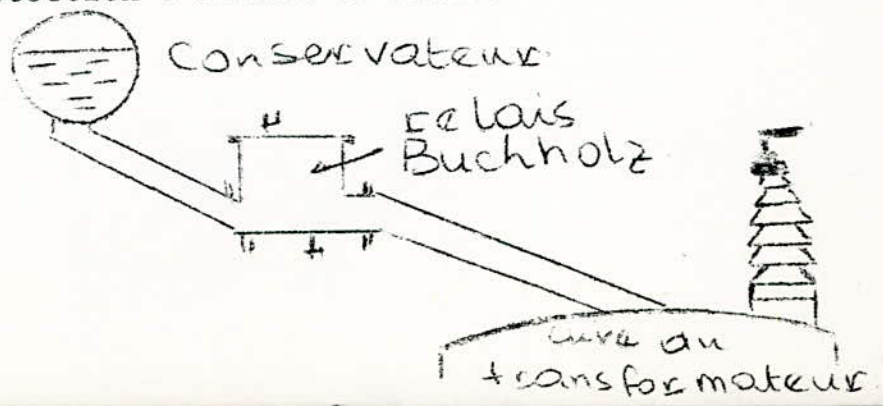
Dans ce cas on utilise des relais thermiques comme ceux utilisés dans les alternateurs.

-PROTECTION INTERNES DES TRANSFORMATEURS:

Protection par détection de gaz:

L'apparition d'un arc produit un dégagement gazeux. Ce gaz est produit par la décomposition du liquide. L'arc caractérise un défaut dans le transformateur, de même, que l'apparition de bulles est un indice d'une avarie interne de la machine.

protection à relais de Buchholz:



Si le défaut qui se produit est grave, le dégagement de gaz et le mouvement de l'huile sont violents. Sous l'action combinée du mouvement d'huile et de gaz le 2ème flotteur bascule et ferme des contacts qui produisent le déclenchement total du transformateur.

Un robinet à la partie supérieure permet de purger le réservoir des gaz qui s'y sont accumulés ; l'analyse de ces gaz renseigne sur la nature du défaut. On contrôle si les gaz sont inflammables (hydrocarbures provenant de la décomposition de l'huile) ou incombustibles (azote et oxygène de l'air) ; dans le 1er cas, on admet qu'il y a eu formation d'un arc, dans le cas contraire on admet qu'il s'agit seulement d'entrées d'air parasites.

Protection de masse - "Protection cuve"

Un relais raccordé au transformateur d'intensité dont le primaire est placé en série sur la connexion de mise à la terre de la cuve permet de provoquer un déclenchement total quand il y a défaut à la masse.

Quant à la protection différentielle, elle est de moins en moins utilisée. Son principe de fonctionnement est identique à celui de l'alternateur.

CHOIX DU SCHEMA ELECTRIQUE:

La disposition en bloc de la centrale a été choisie pour les raisons suivantes:

-D'abords à cause du fait qu'on relie au réseau national la centrale. La ligne de 220 Kv passe par Hadjar Soud situé à environ 40 Km de Guelma. On relie la centrale à cette ligne par l'intermédiaire d'une ligne de 60 Kv. Cette ligne sera longue de 40 Km. De ce fait la centrale peut alimenter la cimenterie de Hadjar Soud (qui est une grande consommatrice de courant).

-Une autre ligne de 60 kv servira à alimenter la zone industrielle de Guelma. Cette zone est importante, car elle rassemble: une usine de céramique, une usine de cycles et de motocycles, une usine de sucre ainsi qu'une foule de petites et moyennes unités industrielles. La consommation en énergie électrique de cette zone industrielle est importante. Pour cela on prévoit 2 (deux) lignes de 60 Kv chacune, pour des raisons de continuité en alimentation d'énergie électrique. En effet, si une ligne tombe en panne, la 2^{ème} ligne entre en service.

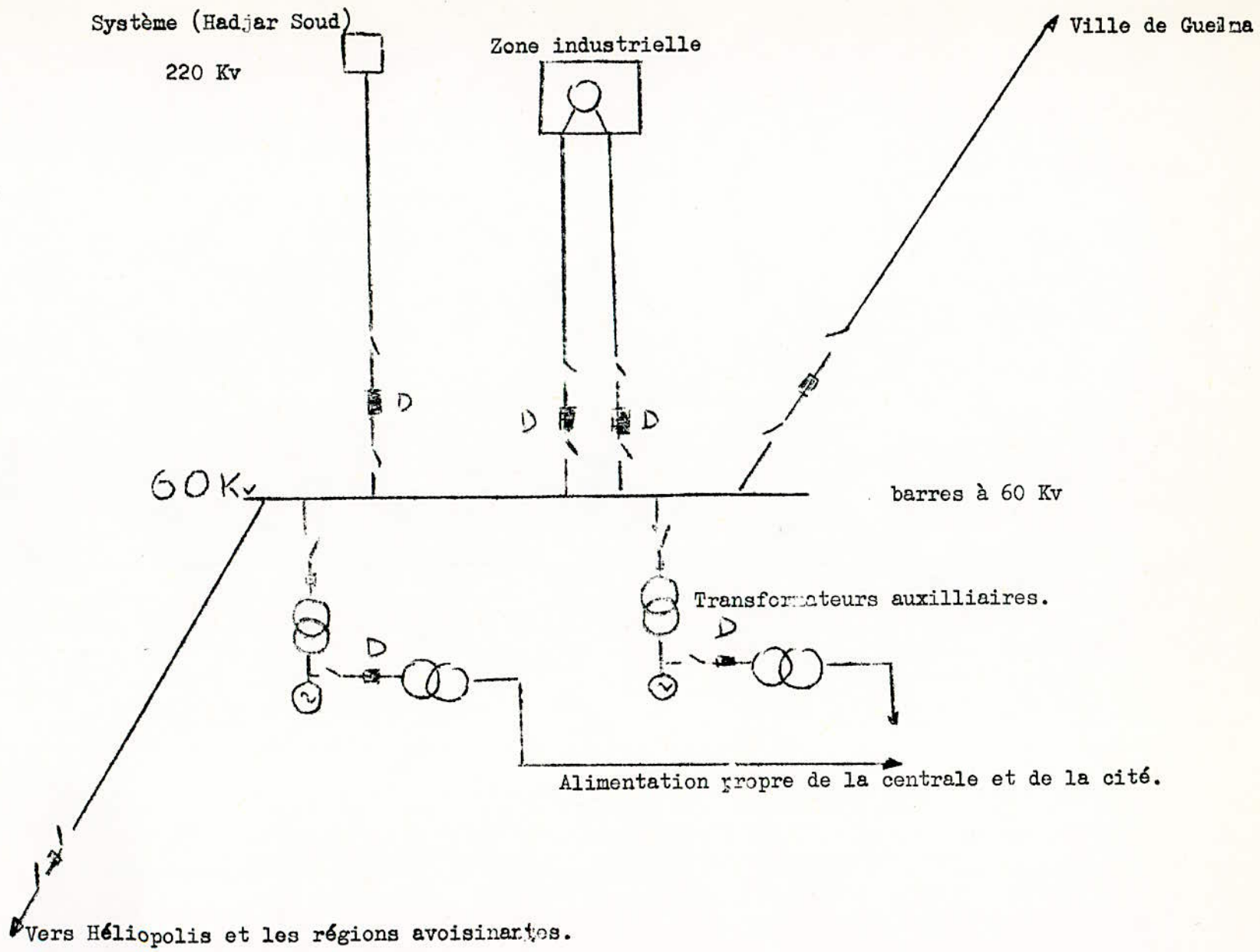
-Une ligne alimentera la ville de Guelma. Cette ligne aura une tension de service de 60 Kv, à cause de l'importance de la ville de Guelma.

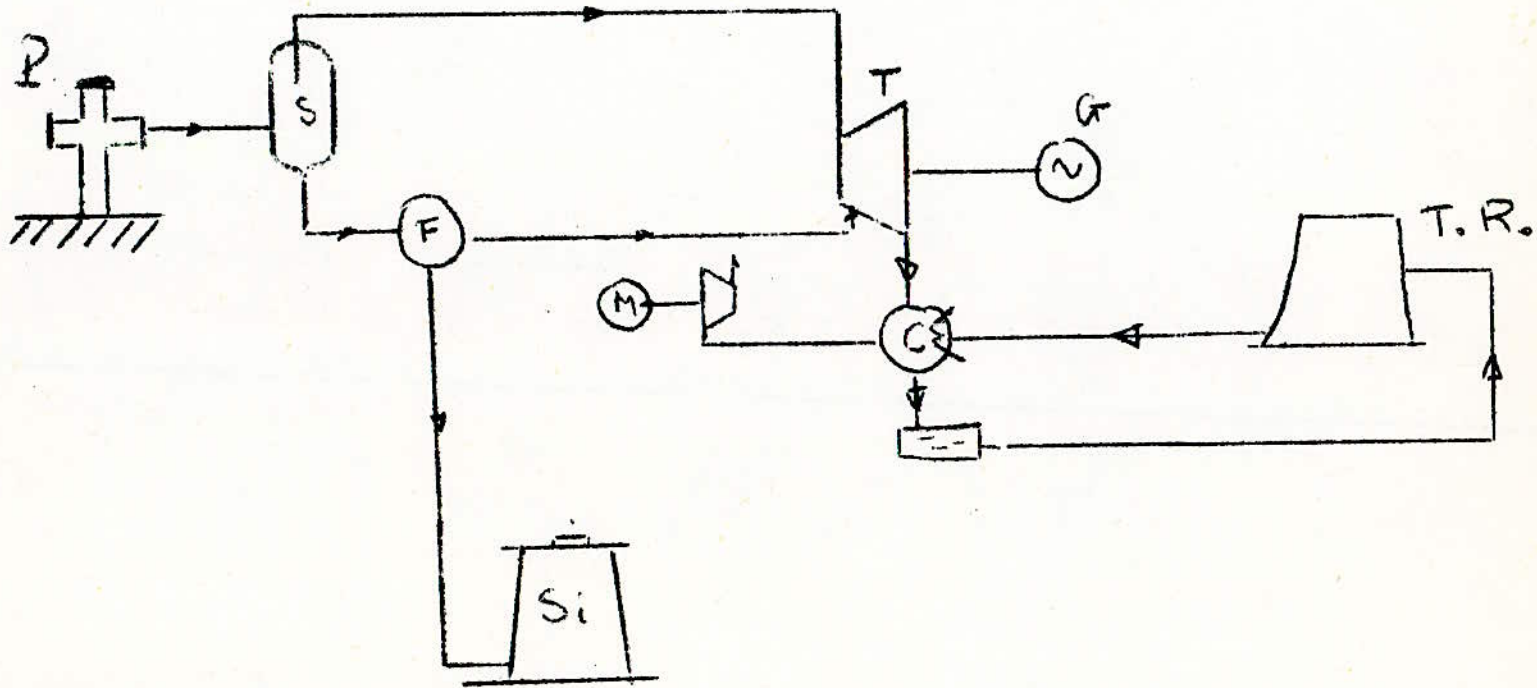
-Une autre ligne servira à alimenter la zone de Héliopolis. Le long de cette ligne on plantera de petits postes de transformateurs (sur les pylônes), et, qui alimenteront les villages situés près de la ligne. Ces transformateurs seront du type: 60/0,4 kv.

En plus on prévoit également des transformateurs auxiliaires pour l'alimentation propre de la centrale.

De ces transformateurs auxiliaires on alimentera (du côté 0,4 Kv) les cités environnantes de la centrale.

Comme on le constate le but de la centrale est avant tout d'alimenter la région de Guelma. La distribution d'énergie électrique dans cette région sous la tension de service de 60 Kv est conforme à cet objectif. La liaison de la centrale avec le réseau a été prévu, dans le cas où une avarie au niveau de la centrale se produit.





CONCLUSION

On constate donc, que malgré les difficultés, on utilise dans une centrale géothermique moins d'équipement que dans une centrale classique. Le nombre réduit d'installations thermiques a pour conséquence la simplicité dans la maniabilité et le fonctionnement. Car dans les centrales géothermiques il n'y a pas de chaudières, de réchauffeurs (source d'investissement, d'entretiens et de pertes)... Seulement, elles ont un inconvénient, on ne maîtrise pas encore parfaitement leur technologie. En effet suivant la qualité de la vapeur (composition chimique, caractéristiques: température, débit, pression...) un équipement adéquat doit être bien choisi.

Mais malgré ces difficultés, on réalise que l'énergie géothermique a de nombreux avantages: l'énergie primaire est gratuite, fonctionnement simple). Une des raisons principales de l'intérêt que l'on porte à l'énergie géothermique est que le coût du kWh produit est bas et qu'il peut être très bas dans des conditions particulièrement favorables. Par exemple à Larderello 1 kWh produit vaut $(2 \text{ à } 3) 10^{-3}$ \$ US. Pour les centrales thermiques classiques il est généralement de $5 \cdot 10^{-3}$ \$ US. Seul l'énergie hydro-électrique peut aller aussi bas (ou plus bas). Mais le plus grand inconvénient; est le fait que cette source est à bas contenu énergétique.

Cette énergie est appelée à jouer un très grand rôle dans l'avenir. Selon les toutes dernières informations, elle assurera d'ici l'an 2000 quelque 20% de la production d'énergie électrique aux Etats Unis. Cela représentera environ 1500 milliards de KWH.

En Algérie les premiers espoirs étaient tournés vers Hammam Meskoutine. C'est la source la plus importante : pour les températures, pour les débits; donc pour le contenu énergétique.

A Tindouf, on vient de découvrir une nappe, dont l'eau est à une température qui dépasse de loin 100° C. Un certain intérêt est porté sur ce gisement depuis sa découverte.

La recherche en géothermie est sortie de son enfance du point de vue scientifique et technologique. On note que l'industrie est en train de changer sa structure. Il y a quelques années personne n'osait prévoir son développement.

Aujourd'hui, grâce aux conférences internationales, sa vulgarisation dans le monde scientifique est acquise.

Mais peut-être est-il trop tôt et manquons nous de recul pour donner un avis sur l'avenir de la géothermie comme source d'énergie. Une chose est certaine, bien que les avis divergent, cette énergie a pris sa place dans l'étalage des sources d'énergie, et, son développement sera soutenu.

BIBLIOGRAPHIE

- RECHERCHE.....N°49 (oct 1974)
- LA GEOTHERMIE.....J.GOGUEL
- ANNALES DES MINES.....5/1971
- SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LA GEOTHERMIE
(sous l'égide des nations unies)
- SAN FRANCISCO CALIFORNIE.....1975