

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

2/90

وزارة التعليم العالي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur

1EX

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
«0» المكتبة  
BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Département : GENIE MINIER

«0»

# Projet de Fin d'Etudes

pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état

## Sujet

EVALUATION DE LA TEMPERATURE

DE L'AIR DANS UNE MINE DE

HAUTE - SILESIE

Proposé par :

Mr KUDELKO

Etudié par :

Mr A. AIT CHALAL

Dirigé par :

Mr KUDELKO

Promotion : 1990

E.N.P. - 10, Avenue Hacén Badi - EL-HARRACH — ALGER

وزارة التعليم العالي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة  
BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Département : GENIE MINIER

# Projet de Fin d'Etudes

pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état

## Sujet

EVALUATION DE LA TEMPERATURE

DE L'AIR DANS UNE MINE DE

HAUTE - SILESIE

Proposé par :

Mr KUDELKO

Etudié par :

Mr A. AIT CHALAL

Dirigé par :

Mr KUDELKO

Promotion : 1990

## DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à:

- ma mère et mon père,
- mes frères et mes soeurs,
- ceux qui me sont chers.

## REMERCIEMENTS

Je remercie mon promoteur Monsieur J. KUDELKO pour le précieux concours qu'il m'a apporté pour que ce travail voit le jour.

Je remercie également tous ceux qui, de près ou de loin, ont aidé à sa réalisation.

MEMBRES DU JURY

MM. AIT YAHIATENE	Président
KUDELKO	Rapporteur
AGUID BACHAR	Examineur
WENDA	Examineur
BOTEV	Examineur

## SOMMAIRE



INTRODUCTION	1
CHAPITRE I: ATMOSPHERE DE LA MINE	4
<b>I.1. LES GAZ DE LA MINE</b>	4
I.1.1. <i>Oxygène</i>	4
I.1.2. <i>Gaz carbonique</i>	5
I.1.3. <i>Oxyde de carbone</i>	6
I.1.4. <i>Grisou</i>	6
I.1.5. <i>Oxydes d'azote</i>	7
I.1.6. <i>Sulfure d'hydrogène</i>	8
<b>I.2. LES POUSSIÈRES</b>	8
<b>I.3. CONCLUSION</b>	9
CHAPITRE II: PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'AIR	10
<b>II.1. DENSITÉ</b>	10
<b>II.2. PRESSION</b>	10
<b>II.3. TEMPÉRATURE</b>	11
<b>II.4. HUMIDITÉ</b>	12
CHAPITRE III: LA MESURE DES TEMPÉRATURES DANS LES MINES	15
<b>III.1. MATÉRIEL UTILISABLE</b>	15
<b>III.2. TECHNIQUE DES MESURES</b>	17
CHAPITRE IV: INFLUENCE DU CLIMAT DES CHANTIERS SUR L'ACTIVITÉ DES MINEURS	22
CHAPITRE V: LA CLIMATISATION DES MINES PROFONDES	28
<b>V.1. LES MOYENS D'ÉVITER OU DE RETARDER     LA RÉFRIGÉRATION ARTIFICIELLE DES MINES CHAUDES</b>	28
V.1.1. <i>Le refroidissement         préalable des voies d'entrée d'air</i>	28
V.1.2. <i>Le choix du mode de soutènement</i>	28

V.1.3. <i>L'assèchement des voies d'entrée d'air</i>	29
V.1.4. <i>L'emploi de moteurs à air comprimé</i>	29
V.1.5. <i>Evacuation des roches abattues par les voies de retour d'air</i>	31
V.1.6 <i>Le dosage strict de l'eau utilisée pour la lutte contre les poussières</i>	31
<b>V.2. LE REFROIDISSEMENT DE L'AIR DES CHANTIERS D'ABATTAGE</b>	31
<b>V.3. LES MACHINES FRIGORIFIQUES</b>	34
<b>CHAPITRE VI: EVALUATION DE LA TEMPERATURE DE L'AIR DANS LA MINE DE CHARBON DE HAUTE-SILESIE</b>	38
<b>VI.1. PUIITS D'ENTREE D'AIR</b>	38
<b>VI.2. EXCAVATIONS HORIZONTALES</b>	40
<b>VI.3. CHOIX D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE</b>	47
<b>CONCLUSION</b>	51

L'atmosphère dans une mine constitue un milieu confiné dont on est amené à contrôler le climat pour permettre à l'organisme humain de travailler dans des conditions acceptables.

Des recherches menées dans différents pays ont montré que l'intensité du travail musculaire qui conditionne l'importance du dégagement de chaleur métabolique, baisse nécessairement dans une atmosphère chaude et humide et qu'il faut prendre en considération, pour estimer les conditions climatiques dans un chantier les trois grandeurs suivantes:

- la température sèche  $\theta_s$  (°C)
- la température humide  $\theta_h$  (°C)
- la vitesse du courant d'aérage  $v$  (m/s).

Ces trois grandeurs apparaissent dans l'expression de la température résultante  $\theta_R$  (°C):

$$\theta_R = 0,3 \theta_s + 0,7 \theta_h - v$$

L'épuisement des ressources minérales facilement exploitables a conduit à un approfondissement des exploitations minières. Ainsi dans les mines d'or Sud Africaines la profondeur dépasse aujourd'hui les 4000 m et la température des terrains se situe alors entre 60 °C et 70 °C.

Cet approfondissement ainsi que l'accroissement des puissances d'extraction installées qui peuvent atteindre quelques centaines de Kilowatts, se traduit par une augmentation considérable de l'apport calorifique de l'aérage et la détérioration des conditions climatiques.

Les vitesses d'avancement élevées, dans le cas d'une taille, amènent un renouvellement rapide de terrains frais, donc à une température voisine de la température du massif vierge de toute exploitation, au contact du courant d'aérage. Cela entraîne une

augmentation du flux calorifique en provenance du massif.

Si de l'évaporation d'eau peut résulter une réduction de l'apport calorifique du massif par le refroidissement rapide des surfaces de la roche, une humidité excessive de l'air est défavorable à la sudation qui est extrêmement importante dans une atmosphère chaude. Donc les méthodes de lutte contre les poussières par pulvérisation d'eau contribuent de manière sensible à la détérioration des conditions climatiques.

Cet effet défavorable de l'évaporation nécessite, en l'absence de réfrigération, une augmentation de la vitesse du courant d'aéragé qui ne peut toutefois dépasser certaines limites.

Une prévision sûre des conditions climatiques est une base essentielle pour l'ouverture de nouveaux chantiers. Elle permet le dimensionnement de la ventilation qui, outre le fait qu'elle doit évacuer les gaz ou les poussières dangereux, doit en plus assurer des conditions climatiques convenables. On rejoint ici l'aspect économique d'une prévision climatique.

## CHAPITRE I

### ATMOSPHERE DE LA MINE [1], [6]

L'air atmosphérique normal contient près de 79% d'azote, 20,96% d'oxygène et 0,04% de gaz carbonique. La teneur en vapeur d'eau est sujette à d'assez larges variations.

La composition de l'air en gaz reste constante en raison du grand volume de l'atmosphère terrestre, de la compensation réciproque des processus chimiques qui ont lieu sur la terre, de la grande mobilité atmosphérique et de la diffusion des gaz. Cependant, dans des espaces limités par des barrières peu perméables au gaz, une telle constance peut être facilement détruite, et il devient nécessaire de chasser l'air altéré, de le remplacer par de l'air frais, c'est-à-dire de les aérer. De telles conditions existent précisément dans les travaux souterrains.

Pour mettre en évidence l'importance de la ventilation dans l'exploitation des mines, il est d'usage de rapprocher le poids de l'air circulant dans les travaux miniers de celui du minerai extrait; il est plus de sept fois le tonnage du charbon extrait.

#### I.1. LES GAZ DE LA MINE

##### I.1.1. *Oxygène*

La teneur en oxygène dans la mine diminue à la suite de la respiration des hommes, de la lente oxydation des matières organiques et minérales et de la dilution de l'oxygène par les gaz de la mine.

Pour le maintien de la santé de l'homme et de son aptitude au travail, la teneur en oxygène dans les chantiers en activité,

d'après les Règlements de sécurité en Algérie, doit être supérieur à 20% en volume.

une brusque et considérable diminution de la teneur en oxygène de l'air se produit au cours des incendies souterrains et des explosions de gaz et de la poussière. Avec l'abaissement de la teneur en oxygène jusqu'à 17%, on remarque chez les hommes des manifestations pathologiques et lorsque la teneur tombe à 12%, des cas mortels sont possibles.

La lampe à flamme permet la détection immédiate des atmosphères déficientes en oxygène, mais elle a des limitations. La flamme de la lampe s'éteint quand la teneur en oxygène est de 16,25%, mais en présence de grisou, elle peut ne pas s'éteindre si la teneur en oxygène ne descend pas en deçà de 13%.

#### *1.1.2. Gaz carbonique*

Une augmentation relativement faible de la teneur en gaz carbonique (jusqu'à 1%) agit principalement sur l'intensité de la respiration; avec 3%, la respiration, même au repos, devient deux fois plus rapide et le travail provoque une grande fatigue; avec 5%, la respiration devient très pénible; avec 6%, une forte oppression et une faiblesse se manifestent; jusqu'à 10% et au dessus, une syncope peut survenir et de 20 à 25% et au delà, l'homme est menacé d'une intoxication mortelle.

La majeure partie du gaz carbonique se dégage habituellement de la houille et des terrains encaissants, ainsi que du bois en voie de pourrissement. Des quantités plus faibles sont dues à la respiration des hommes, à l'utilisation des machines diesel et à la décomposition des matières organiques.

Les Règlements de sécurité exigent que la teneur en gaz

carbonique, dans tous les lieux de travail, ne soit pas supérieure à 0,5% et dans le courant général de retour ne dépasse pas 1%.

### I.1.3. *Oxyde de carbone*

Dans les mines, l'oxyde de carbone se forme principalement au cours des incendies, des explosions de grisou et de la poussière de charbon (surtout de la poussière seule) et au cours du tir des mines. L'oxyde de carbone, en mélange avec de l'air, est combustible (compris entre les limites de 13 et 75% le mélange est même explosif). Son danger consiste dans sa toxicité qui résulte de sa grande affinité pour l'hémoglobine du sang qui est 250 à 300 fois plus forte que l'oxygène. Pour cette raison, même en présence d'une faible teneur d'oxyde de carbone, il se produit dans l'organisme, un déficit d'oxygène. Après une forte saturation du sang par l'oxyde de carbone, lorsque 70 à 80% d'hémoglobine se combinent avec lui, la mort survient.

Une norme hygiénique de la teneur en oxyde de carbone de l'air dans les mines est fixée à 0,0016%.

### I.1.4. *Grisou*

Le grisou représente un mélange de méthane pur avec un peu d'hydrocarbures (éthane et éthylène), d'hydrogène, de gaz carbonique, d'azote, etc...

Au cours de l'exploitation des gisements, le méthane se dégage partiellement dans l'atmosphère de la mine. La quantité du méthane dégagée augmente avec la profondeur de la mine.

Le grisou constitue pour les mines un très grave danger, parcequ'il devient explosif lorsqu'il est mélangé à l'air dans

certaines proportions (entre 6 et 16%). Il peut suffire alors d'une étincelle pour amener une catastrophe.

L'explosion du gaz présente un tel danger pour les hommes et pour l'ensemble de la mine que dans les mines reconnues comme grisouteuses, on adopte un régime spécial qui prévoit une série de mesures destinées à augmenter la sécurité du travail.

Dans l'essentiel, ces mesures ont pour objectif la diminution de la proportion du méthane dans l'air. Dans les mines dangereuses (mines grisouteuses), on fournit beaucoup plus d'air que dans les mines non grisouteuses. Il est indispensable que la teneur en méthane dans le courant de retour d'air général ne dépasse pas 0,75%.

Avec l'élévation de la teneur en méthane dans le chantier jusqu'à 2%, il est nécessaire d'arrêter les travaux et d'évacuer tous les ouvriers de la taille.

Pour diminuer l'abondance du gaz dans les mines on pratique le dégazage artificiel des couches par l'aspiration du méthane à travers les trous de sonde à partir de la surface et son utilisation dans l'économie industrielle ou domestique.

#### I.1.5. Oxydes d'azote

Les oxydes d'azote sont immédiatement irritants pour la gorge et les voies respiratoires, mais ne cause pas instantanément de souffrances particulières dans la profondeur des poumons. En fait, il sont d'autant plus dangereux qu'ils sont plus capables de se dissoudre dans l'humidité des poumons, formant des acides nitreux et nitriques capables de corroder les voies respiratoires et d'engendrer des effets retardés (un individu peut apparemment se remettre d'une exposition aux oxydes d'azote

et mourir soudainement plusieurs heures ou plusieurs jours après).

Les oxydes d'azote sont fournis dans les mines par la déflagration des explosifs. Ils figurent d'autre part parmi les constituant des gaz d'échappement des moteurs diesel.

Avec une teneur en bioxyde d'azote inférieure à 0,004%, il n'y a pas de danger pour la santé de l'homme. Entre 0,004 et 0,08%, elle constitue un sérieux danger pour la santé et au-delà de 0,08%, elle est une menace de mort pour l'homme. Pour cette raison, il ne faut pas, après le tir, entrer dans les chantiers avant qu'ils soient convenablement aérés.

#### *1.1.6. Sulfure d'hydrogène*

L'hydrogène sulfuré est fortement toxique, possédant une odeur caractéristique d'oeufs pourris. Sa teneur dans l'air supérieure à 0,1% est dangereuse pour la vie de l'homme. Avec 6% d'hydrogène sulfuré dans l'air, il se forme un mélange détonant.

La formation d'hydrogène sulfuré dans les mines résulte du pourrissement des matériaux en bois; il se dégage à l'état pur par les fractures et les cavités.

### **1.2. LES POUSSIÈRES**

Suivant la composition minéralogique de la poussière on distingue:

- Les poussières toxiques comme le minerai de cuivre, d'antimoine, de plomb, de mercure, de chrome, de manganèse.
- Les poussières provoquant des maladies pulmonaires (poussière siliceuse, celle de charbon, d'asbeste, de sidérose, de nephéline, etc...).

- Les poussières combustibles: poussières de charbon, de pyrite et de soufre.

Une norme sanitaire de la teneur de la poussière dans l'air pour les roches contenant plus de 10% de la silice libre est fixée à 2 mg/m<sup>3</sup>, pour la poussière d'autres minéraux, elle est supérieure mais ne dépasse pas 10 mg/m<sup>3</sup>.

Parmi les méthodes de lutte contre la formation de poussières dans la mine, on peut citer:

- La foration humide,
- L'infusion d'eau dans le massif,
- L'abattement par pulvérisation.

### I.3. CONCLUSION

Les substances susceptibles de polluer l'atmosphère de la mine sont nombreuses, et les caractéristiques de la ventilation doivent être choisies de manière à maintenir la concentration de chacune d'elles au-dessous de la limite permise. Fort heureusement, elle n'interviennent pas toutes simultanément: Lorsque plusieurs d'entre elles interviennent simultanément, le débit d'air minimum qu'il convient d'assurer est déterminé, en général, par la considération d'une seule d'entre elles. Dans une mine grisouteuse, par exemple, le débit minimum sera en général déterminé par la condition que la teneur en grisou ne dépasse pas une certaine limite et, cette condition étant remplie, les concentrations des autres substances nocives se trouvent automatiquement abaissées au-dessous de leur valeur limite.

## CHAPITRE II

### PROPRIETES PHYSIQUES DE L'AIR [6], [7]

#### II.1. DENSITE

Le poids spécifique de l'air des mines  $\gamma$  dépend de la pression atmosphérique, de la température et de l'humidité; l'influence de cette dernière est négligeable et habituellement on n'en tient pas compte. Le poids spécifique de l'air s'exprime à l'aide de la formule:

$$\gamma = 0,29 \frac{P}{T} \quad (\text{Kg/m}^3)$$

P: pression atmosphérique (mm de mercure)

T: température absolu (K)

T=15 °C

On prend:  $\gamma = 1,2 \text{ Kg/m}^3$  pour P=760mm de mercure  
60% d'humidité

#### II.2. PRESSION

La pression d'air dans une mine dépend de la pression d'air à la surface du sol, de la profondeur, de la température et de l'humidité de l'air.

A chaque enfoncement de 100 m dans le puits de la mine correspond une augmentation de la pression de 9 à 10 mm de la colonne de mercure en moyenne.

La différence de pression à la surface du sol et dans les mines, même les plus profondes, ne dépasse pas 30% et l'organisme humain la supporte sans difficulté.

### II.3. TEMPERATURE

On distingue deux sortes de température : la température sèche et la température humide.

#### Température sèche $\theta_s$

On désigne ainsi la température indiquée par un thermomètre placé dans le courant d'aérage avec la bulle découverte.

#### Température humide $\theta_h$

C'est la température de l'air refroidi à partir de sa température sèche par évaporation adiabatique d'eau jusqu'à la saturation. Cette température est mesurée à l'aide d'un thermomètre dont la bulle est entourée d'un tissu imbibé d'eau et placé dans le courant d'air qui accélère l'évaporation.

Le massif, qui entoure la voie, est une source inépuisable de chaleur. La détermination du flux de chaleur libéré par les terrains suppose la connaissance des paramètres caractéristiques des terrains, c'est-à-dire leur conductibilités thermiques et leurs diffusités.

Lors de sa descente dans les puits et dans les galeries inclinées, l'air subit, par suite de la compression un échauffement qui atteint, d'après les données de A. Skotchisky, 1 °C par 100 m d'approfondissement.

La température de l'air dans les mines dépend des processus exothermiques et endothermiques qui ont lieu dans les ouvrages souterrains. Parmi les processus exothermiques citons : l'oxydation du charbon, le pourrissement du bois et la décomposition de certains minéraux. Concernant les processus endothermiques nous citons le principal qui est l'évaporation de l'eau. 1 g d'eau en s'évaporant dans la mine absorbe près de 0,58 cal/Kg et abaisse la température de l'air de 1,9 °C

environ.

Pour compléter ces indications sur la température, voici (fig. 1) les courbes de température de la mine de Ruhr, se trouvant à 950 m de profondeur, étudiées en février et en juillet.

On voit qu'entre l'été et l'hiver, la différence de température de l'air est, au jour, de 17 °C. Elle est ramenée à 13 °C au puits d'entrée d'air et à 9 °C à l'entrée des tailles. En tête des tailles, la différence n'est plus que de 4 ou 5 °C. Ceux-ci se maintiennent jusqu'au jour. On voit que les différences de température entre hiver et été sont bien moins fortes dans la mine qu'au jour et qu'elles diminuent constamment depuis l'entrée jusqu'au retour d'air. Quant à l'élévation moyenne de température en taille, elle est de 12 °C en hiver et n'est plus que de 7 °C en été. Ceci vient de ce que les échanges thermiques, entre l'air et le massif, sont en fonction de leur différence de température.

#### II.4. HUMIDITE

Il existe deux notions différentes d'humidité : l'humidité relative et l'humidité absolue.

##### Humidité relative $\Phi$

Par définition, l'humidité relative  $\Phi$  à une température donnée  $\theta$ , est le quotient, exprimé en %, de la pression partielle en vapeur d'eau  $P_v$  sur la pression de vapeur saturante  $P_s(\theta)$  à la température considérée.

$$\Phi = \frac{P_v}{P_s(\theta)} \times 100$$

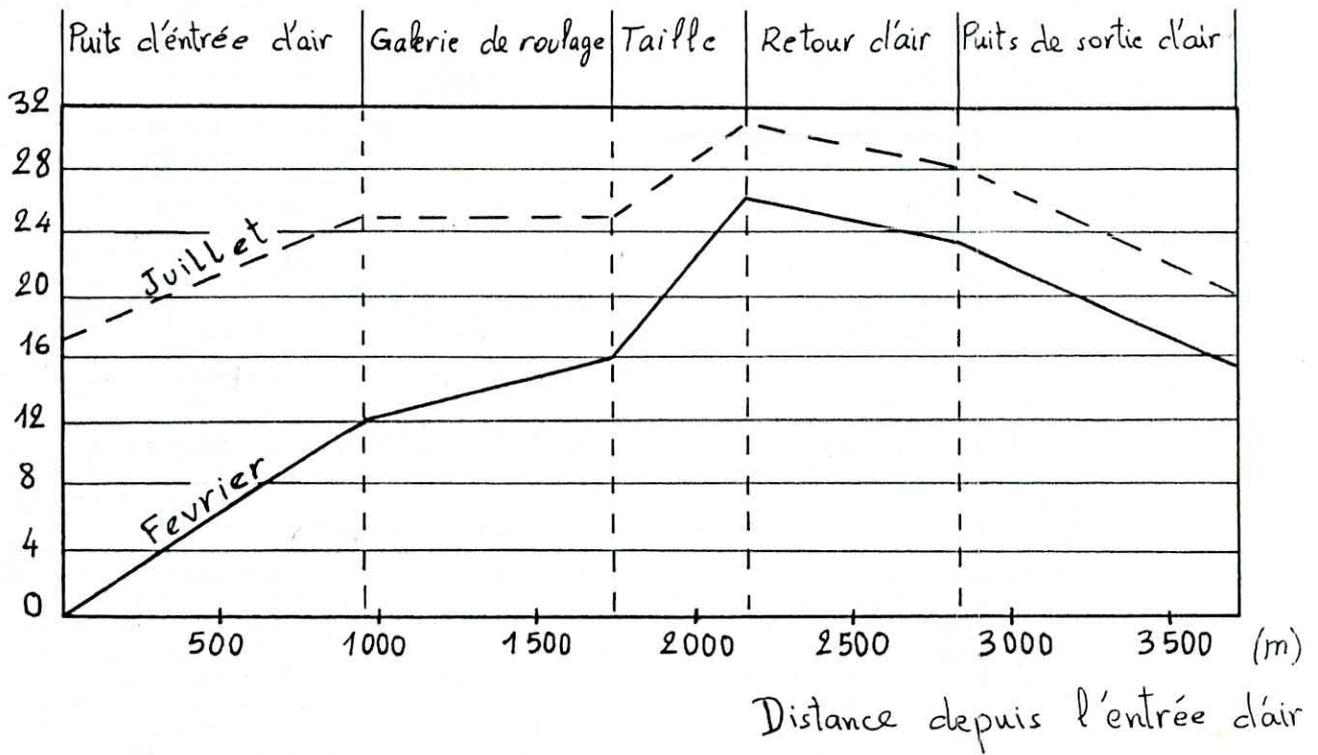


Figure 1: Saisons et températures.

L'humidité relative traduit la possibilité ou la non possibilité de l'évaporation : si  $\Phi = 100\%$ , la pression partielle de vapeur d'eau est égale à la pression de vapeur saturante, c'est-à-dire que l'air ne peut plus absorber d'eau, donc toute évaporation est bloquée.

#### Humidité absolue $\alpha$

Par définition, l'humidité absolue  $\alpha$  est le quotient de la masse de vapeur d'eau  $m_v$  contenue dans un volume  $v$  d'air sur la masse d'air sec  $m_a$  contenue dans le même volume. Elle est exprimée en g de vapeur d'eau par Kg d'air sec

$$\alpha = \frac{m_v}{m_a}$$

## CHAPITRE III

### LA MESURE DES TEMPERATURES DANS LES MINES [2]

#### III.1. MATERIEL UTILISABLE

Pour la mesure des températures dans les mines, on peut utiliser : des thermomètres ordinaires en verre, des thermocouples et des thermomètres à résistance.

Pour l'enregistrement des températures, les seuls appareils vraiment précis sont ceux basés sur la conversion de la variation de température en variation d'une grandeur électrique.

Les thermomètres ordinaires en verre, basés sur la dilatation du mercure ou d'un autre liquide coloré, ne demandent pas d'explications. Ils doivent être pourvus d'une graduation dont l'étendue et la finesse sont compatibles avec le genre et la précision des renseignements recherchés.

L'inconvénient principal de l'emploi de thermomètres en verre est évidemment leur fragilité, à laquelle on peut remédier par l'emploi d'une gaine métallique.

Examinons maintenant la thermométrie par thermocouples. Comme on le sait, la jonction entre deux métaux (ou alliages) différents est le siège d'une force électromotrice dépendant de la nature de ces métaux et de la température de la soudure. Pour appliquer cette propriété à la mesure des températures, il suffit de constituer le circuit de la figure 2. Dans ce schéma, c désigne la soudure dite "chaude" servant de sonde de mesure, f la soudure froide disposée dans une enceinte thermostatique, et dont la température est connue, enfin V est un millivoltmètre. Si la température en f varie peu, la tension lue au millivoltmètre V sera fonction des résistances du circuit et de

l'appareil, de la nature du couple thermo-électrique et de la différence de température  $\theta_c - \theta_r$ .

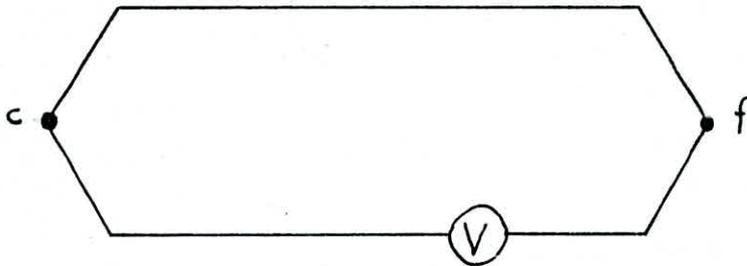


Fig. 2 : Schéma d'un thermocouple

La difficulté principale de l'emploi des couples thermoélectriques est la faible valeur de la force électromotrice induite par des différences de température. On est donc obligé d'utiliser des appareils sensibles. Il existe cependant des instruments sensibles adaptés aux conditions de la mine, c'est-à-dire antidéflagrants, étanches aux poussières et assez résistants aux chocs. En ce qui concerne le choix des couples thermoélectriques, on utilise couramment le couple cuivre-constantan, en fils d'un diamètre de 0,5 à 1 mm pourvus d'une bonne isolation (par exemple plastique) protégeant le fil contre les dommages mécaniques et l'action de l'humidité ou des eaux corrosives du fond. Les deux métaux peuvent être joints par une simple soudure à l'étain, vu les basses températures envisagées; les soudures elles-mêmes doivent être protégées contre la corrosion par l'humidité ou par l'eau saline. La soudure froide peut être placée dans un bain thermostatique (par exemple de la glace fondante préparée à partir d'eau distillée

et contenue dans une bouteille thermos), dont la température sera contrôlée par un thermomètre précis.

L'avantage principal de l'emploi de thermocouples est la possibilité de mesure à distance, notamment en des points difficilement accessibles.

Un autre type de détecteur de température est constitué par les résistances variables en fonction de la température. Dans ce type d'appareil, la mesure de température est remplacée par celle d'une résistance et peut se faire selon la méthode classique du pont de Wheatstone. On doit donc disposer d'une source de tension continue stable.

### III.2. TECHNIQUE DES MESURES

La technique des mesures est légèrement différente suivant qu'il s'agit de mesurer la température de l'air, celle de la roche profonde ou celle des parois des galeries.

En ce qui concerne la température de l'air, on rencontre deux sources principales d'erreur: le rayonnement des parois et l'inhomogénéité thermique de la veine d'air. Lors de mesures destinées à l'établissement d'un bilan thermique ou à l'analyse des causes d'échauffement de l'air, l'influence du rayonnement doit être éliminée car il ne peut provoquer l'échauffement de l'air, milieu diathermane, alors qu'il agit sur les thermomètres et les sondes de mesures. Les erreurs de mesure dues au rayonnement croissent à mesure qu'augmente l'écart de température entre l'air et les parois et sont d'autant plus importantes que la vitesse de l'air au voisinage de la sonde de mesure est faible. C'est pourquoi il est recommandé d'entourer la bulle du thermomètre d'un écran anti-rayonnement, soit en

matériau isolant, soit en métal à haute réflectivité, tout en assurant une bonne ventilation de la bulle.

Lorsqu'on utilise des couples thermoélectriques ou des thermomètres à résistance, la nécessité d'un écran anti-rayonnement est encore accrue, car ces sondes ont un coefficient d'absorption du rayonnement plus élevé que les thermomètres en verre.

En ce qui concerne l'inhomogénéité thermique de la veine d'air, on observe généralement comme on pouvait s'y attendre, les températures plus élevées vers le haut que vers le bas, l'écart atteignant parfois 1 °C. Pour des déterminations précises de la température moyenne dans une section, on recourra à la technique bien connue du cadrillage de la section et de la mesure successive de la température au centre des surfaces partielles en lesquelles on a découpé la section.

La mesure de la température des parois peut en principe être effectuée par points successifs en mettant en contact intime avec la paroi un élément thermosensible.

On pourra déterminer de façon précise à la fois la température de la paroi et celle de la roche profonde en effectuant un relevé des températures le long d'un trou foré perpendiculairement à la paroi (figure 3). Le diamètre du trou est généralement choisi de l'ordre de 40 mm, ce qui permet d'utiliser l'outillage usuel pour le forage des trous de mine. La profondeur du trou doit en principe être proportionnelle à la racine carrée de l'âge de la galerie est de la diffusivité thermique des roches. Après avoir attendu quelques jours afin

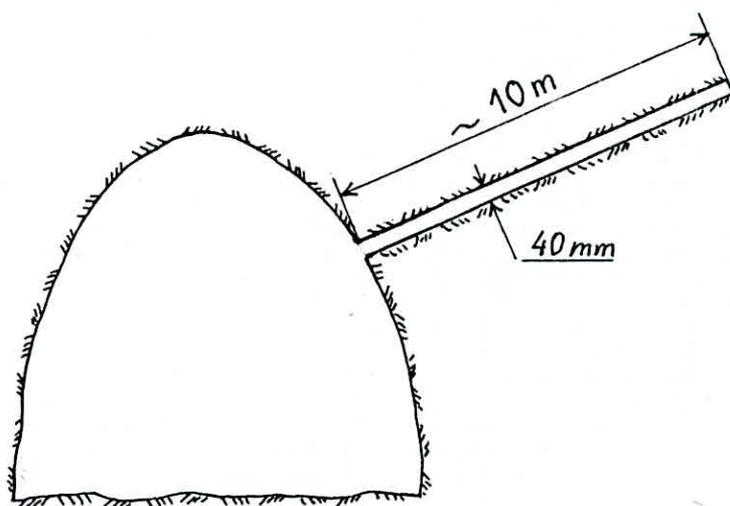


Fig. 3

que la perturbation thermique due au forage soit amortie, on introduit dans le trou un jeu de sondes plus ou moins régulièrement espacées et on attend pour effectuer les mesures que l'équilibre thermique soit rétabli. Pour rendre le contact entre les sondes et la roche très intime et accélérer la mise en équilibre thermique, on utilise un équipement spécial constitué par un tube en caoutchouc ou en plastique sur la paroi extérieure duquel sont fixées les sondes et qu'on gonfle après l'avoir introduit dans le trou de sonde; dans ces conditions, la lecture de la température se stabilise quelques heures après la mise en place des sondes. Les mesures ainsi obtenues sont ensuite converties en un graphique (température en fonction de la distance à la paroi); la courbe extrapolée vers la gauche donnera la température de la paroi, et vers la droite, elle tend vers une asymptote qui est la température de la roche profonde (Cf. fig. 4).

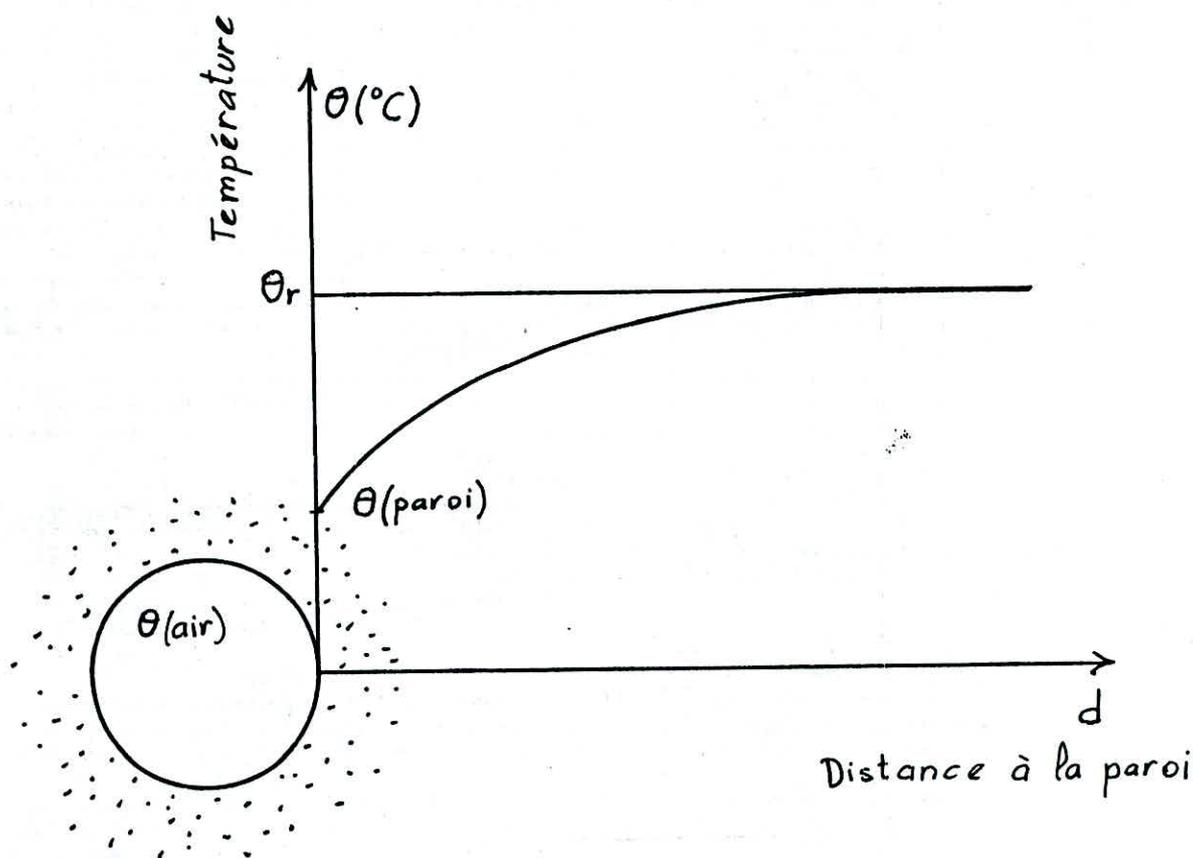


Figure 4 : Variation de la température des roches en fonction de la distance à la paroi

Pour déterminer l'asymptote de la courbe, on peut faire usage de la formule:

$$t_r = \frac{t_1^2 - t_0 \cdot t_2}{2t_1 - (t_0 + t_2)}$$

dans laquelle  $t_0, t_1$  et  $t_2$  désignent les températures à la paroi, à une profondeur  $d$  quelconque et à une profondeur double  $2d$ .

CHAPITRE IV  
INFLUENCE DU CLIMAT DES  
CHANTIERS SUR L'ACTIVITE DES MINEURS [2], [5]

On sait que la vie humaine n'est possible que dans les limites de température interne et que l'homme n'a aucune impression de confort que lorsque sa température est comprise entre 36,5 et 37 °C, celle de la peau étant alors aux environs de 33-34 °C.

Chez un sujet au repos, non exposé au froid, les activités physiologiques basales (contractions cardiaques, mouvements respiratoires, etc...), s'accompagnent d'une production de chaleur de l'ordre de 80 Kcal/h, l'activité musculaire amenant toutefois une importante augmentation de ce chiffre qui peut atteindre alors 700Kcal/h.

Une faible partie de la chaleur musculaire produite par l'effort passe dans la peau qui recouvre le muscle. La plus grande partie va dans le sang, qui l'évacue vers d'autres organes et surtout vers la peau, prise dans son ensemble.

Les échanges de température entre la peau et l'air ambiant s'effectuent (Cf. figure 5):

- par conduction, convection et rayonnement,
- par évaporation de la sueur.

Ces manifestations calorifiques, favorables à la thermorégulation dans les ambiances froides, deviennent une source de problèmes physiologiques quand la température extérieure s'élève. En effet, la perte de chaleur par conduction, convection et rayonnement diminue avec l'augmentation de la température extérieure (Cf figure 6).

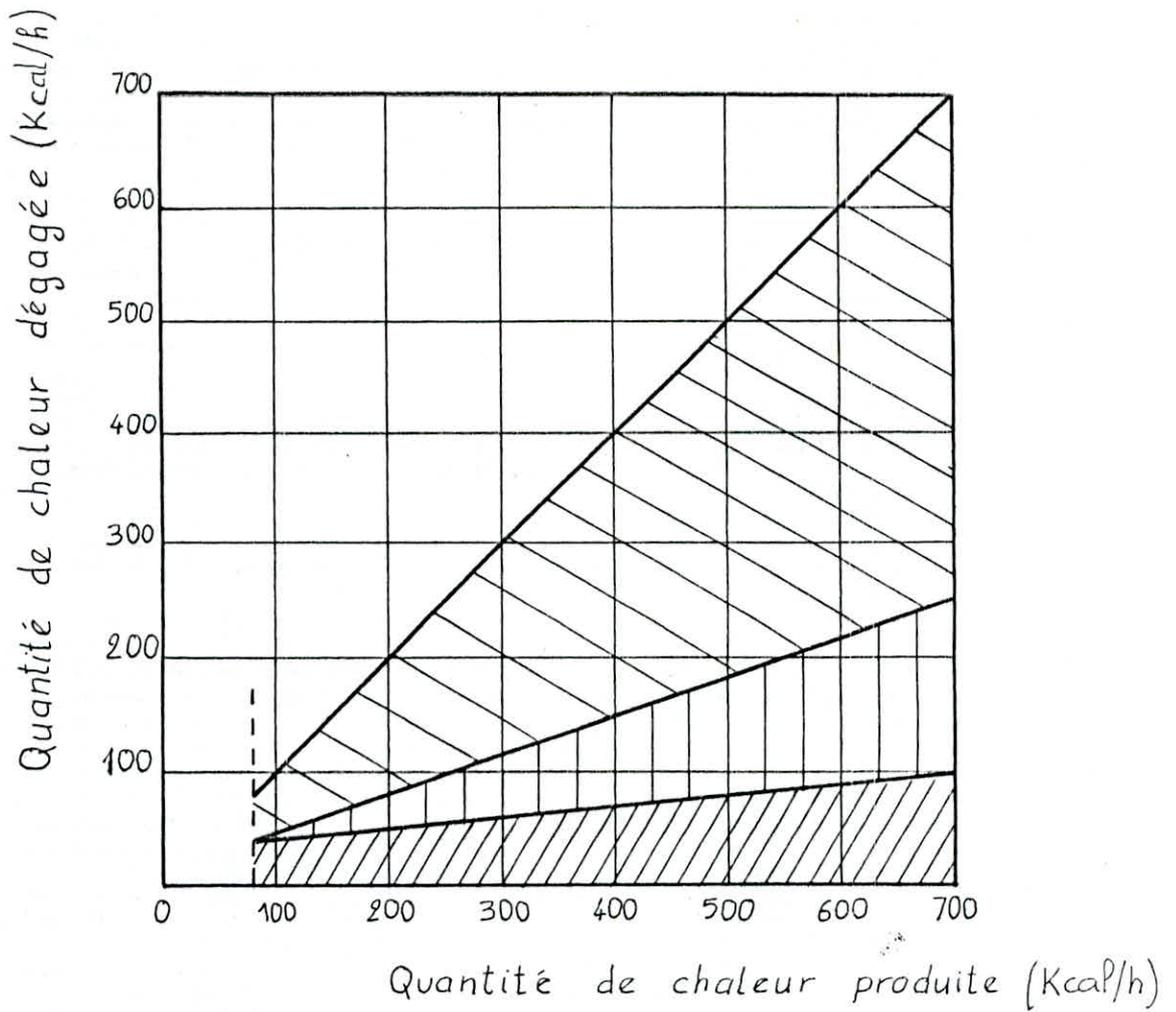


Figure 5: Dégagement de chaleur par le corps humain

 Evaporation

 Conduction et convection

 Rayonnement

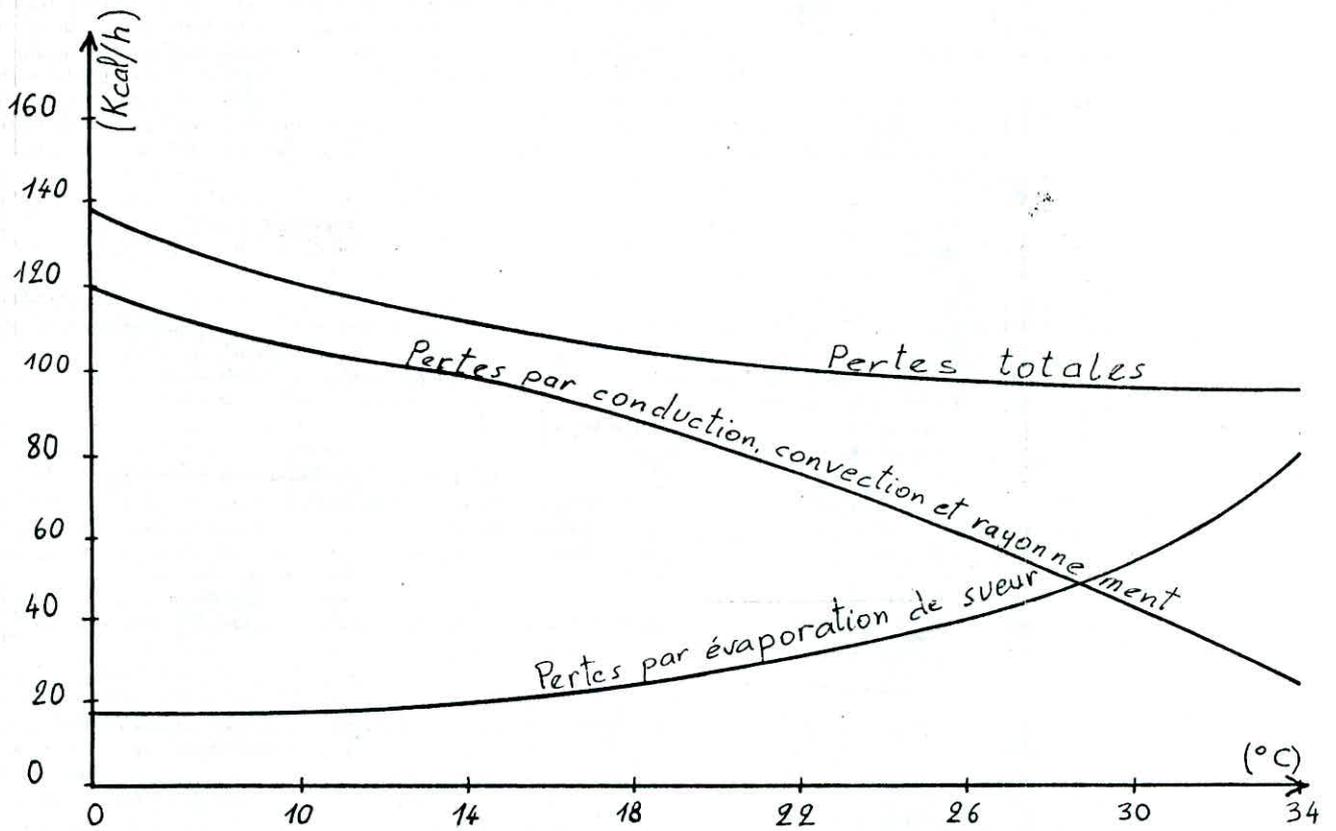


Figure 6 : Pertes de chaleur par différents processus

La nature a heureusement doté l'homme d'expédients lui permettant de se débarrasser quand même des calories produites et maintenir constante sa température interne. En effet, l'élévation de la température ambiante entraîne tout d'abord une vasodilatation cutanée visant à faciliter le transport de chaleur jusqu'à la périphérie. Un débit sanguin atteignant 50 à 60% du débit total peut ainsi être affecté à l'évacuation de la chaleur. Il en résulte une augmentation du débit cardiaque et une accélération du pouls. La vasodilatation cutanée amène progressivement à la température uniforme de 35 °C toute la surface corporelle, réduisant à 2 ou 3 °C l'écart de température entre la peau et les tissus profonds.

Lorsque la température de l'ambiance augmente encore, la vasodilatation cutanée ne suffit pas à empêcher la hausse de température interne. La sudation intervient alors, atteignant un débit de l'ordre de 1 litre par heure dans des conditions climatiques pénibles.

La sueur, sécrétée par les glandes sudoripares, est une solution aqueuse très diluée contenant nombre des constituants du plasma sanguin; le chlorure de sodium y est présent à la plus forte concentration. La perte de liquide résultant de la sudation doit être compensée par une ingestion équivalente de boisson, sans quoi la déhydratation entraîne une concentration excessive et une augmentation de la viscosité du sang, ce qui augmente aussi le travail cardiaque. L'évaporation de la sueur à la surface de la peau soustrait au corps environ 580 Kcal par litre, pour autant que l'atmosphère rende cette évaporation possible.

L'influence de la température sur le rendement du mineur est

donnée par le graphe de la figure 7. Nous voyons qu'à partir de 18 °C, le rendement commence à diminuer.

L'élévation de la température implique obligatoirement une réduction de la productivité de l'ouvrier, d'autant plus marquée qu'il s'agit de travaux plus lourds, en même temps qu'une réduction de ses facultés générales (adresse, attention) défavorable à la sécurité. On doit déjà considérer comme spécialement chauds les chantiers où la température résultante atteint 28 °C.

La limite de température au-delà de laquelle l'ouvrier ne peut travailler peut être aussi donnée par la température effective  $\theta_{ef}$ .

$$\theta_{ef,lim} < 31 \text{ °C}$$

$$\text{où } \theta_{ef} = 0,9 \theta_n + 0,1 \theta_s$$

Lavenne [5] a rassemblé les résultats d'études parues au sujet de la chaleur et de la sécurité de travail.

Si on a pu mettre en évidence d'effet significativement défavorable du travail à haute température sur la santé il apparaît que la contrainte thermique et l'humidité diminuent la sécurité du travail.

Lavenne cite à cet égard le résultat suivant: la réduction de 31,7 à 26,7 °C de la température sèche d'une mine a réduit des 2/3 le nombre d'accidents.

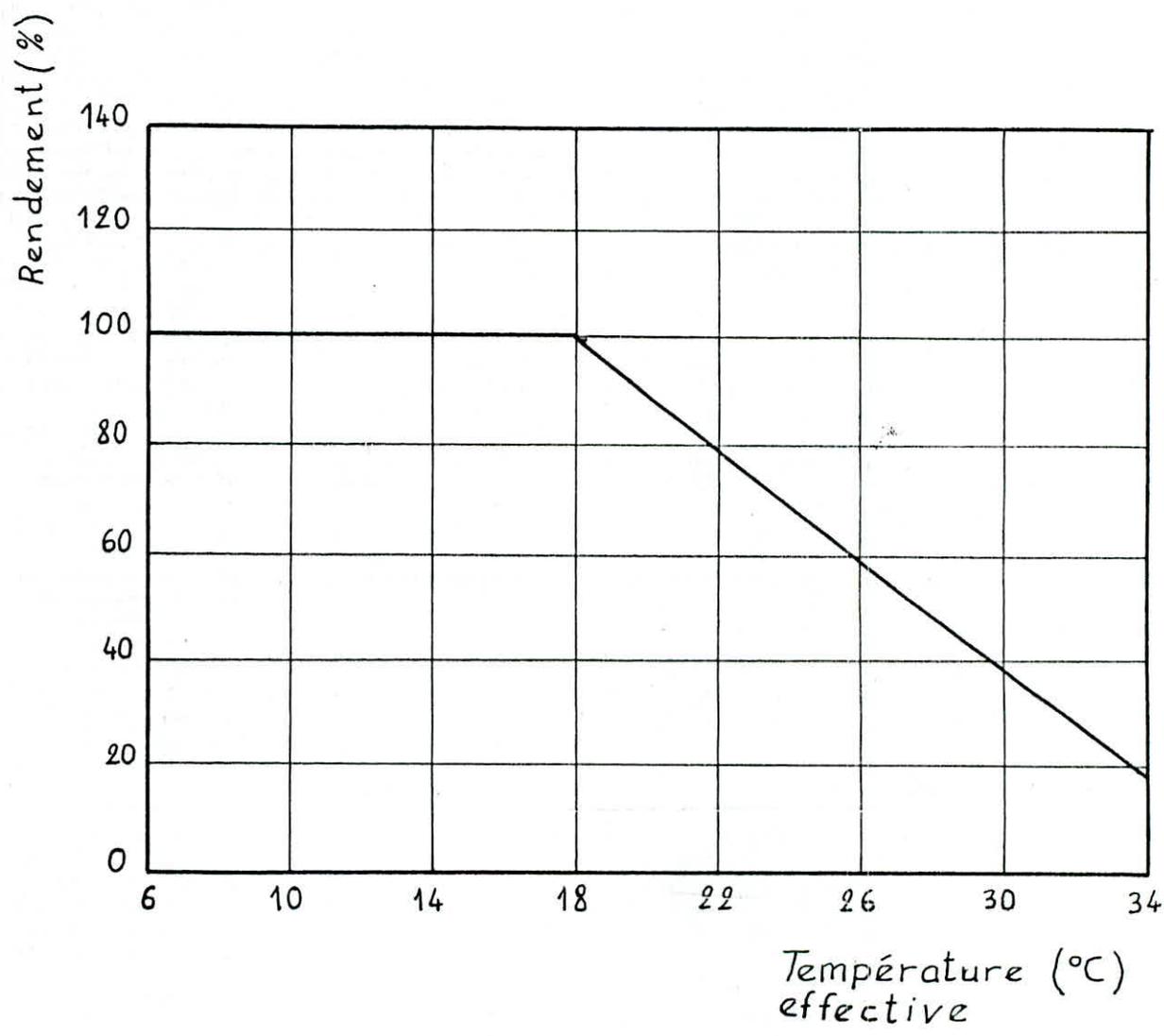


Figure 7: Influence de La température sur le rendement

## CHAPITRE V

### LA CLIMATISATION DES MINES PROFONDES [4]

#### V.1. LES MOYENS D'EVITER OU DE RETARDER LA REFRIGERATION ARTIFICIELLE DES MINES CHAUDES

Dans la plupart des mines, il ne se pose aucun problème de climat. Mais l'approfondissement des travaux ou leur éloignement allongeant les circuits de ventilation peuvent entraîner une détérioration progressive de l'ambiance. A un certain moment, il convient d'être attentif à ce point pour qu'on puisse, dès qu'on commence lentement à s'approcher des conditions climatiques limites, prendre les mesures qui retarderont au maximum l'instant où l'on devra inéluctablement recourir à la réfrigération artificielle de l'air.

Parmi les moyens à prendre en considération, signalons ceux qui suivent:

##### V.1.1. *Le refroidissement préalable des voies d'entrée d'air*

Ce refroidissement est possible à condition que le plan d'exploitation soit mis en exécution assez tôt. Par conséquent, il est recommandable que les approfondissements des puits soient entrepris suffisamment longtemps avant la mise en exploitation des étages nouveaux et qu'une ventilation spéciale y soit assurée pour en garantir le refroidissement; une telle ventilation serait surtout conseillée en hiver.

##### V.1.2. *Le choix du mode de soutènement*

La source principale de chaleur étant le massif, il est important de choisir un matériau de soutènement isolant, afin de

diminuer l'apport calorifique du massif.

L'utilisation d'un soutènement isolant permet une stabilisation plus grande de la température dans la galerie (Cf fig. 8); de plus cette température est inférieure à celle enregistrée sans l'utilisation d'un soutènement isolant.

Pour obtenir un matériau de soutènement de conductivité thermique très faible, on utilise un mélange de laine de verre et de béton.

#### V.1.3. *L'assèchement des voies d'entrée d'air*

Si les parois des voies d'entrée d'air sont maintenues relativement sèches, l'humidité de l'air ne s'accroît que dans des proportions limitées.

#### V.1.4. *L'emploi de moteurs à air comprimé*

Il est préférable d'utiliser des moteurs à air comprimé plutôt que des moteurs électriques ou à combustion, là où les circonstances économiques le permettent. On sait en effet que le bilan calorifique des moteurs à air comprimé est beaucoup plus favorable que celui des moteurs électriques.

L'expérience prouve que l'air comprimé arrive aux chantiers avec une température égale à celle de l'air de ventilation. Par suite de sa détente avec production de travail moteur, l'air s'échappe des appareils qu'il a actionnés à une température plus basse que celle de l'ambiance et peut produire localement un certain effet de refroidissement. Il produit encore dans la taille un effet frigorifique supplémentaire en raison de sa faible teneur en vapeur d'eau.

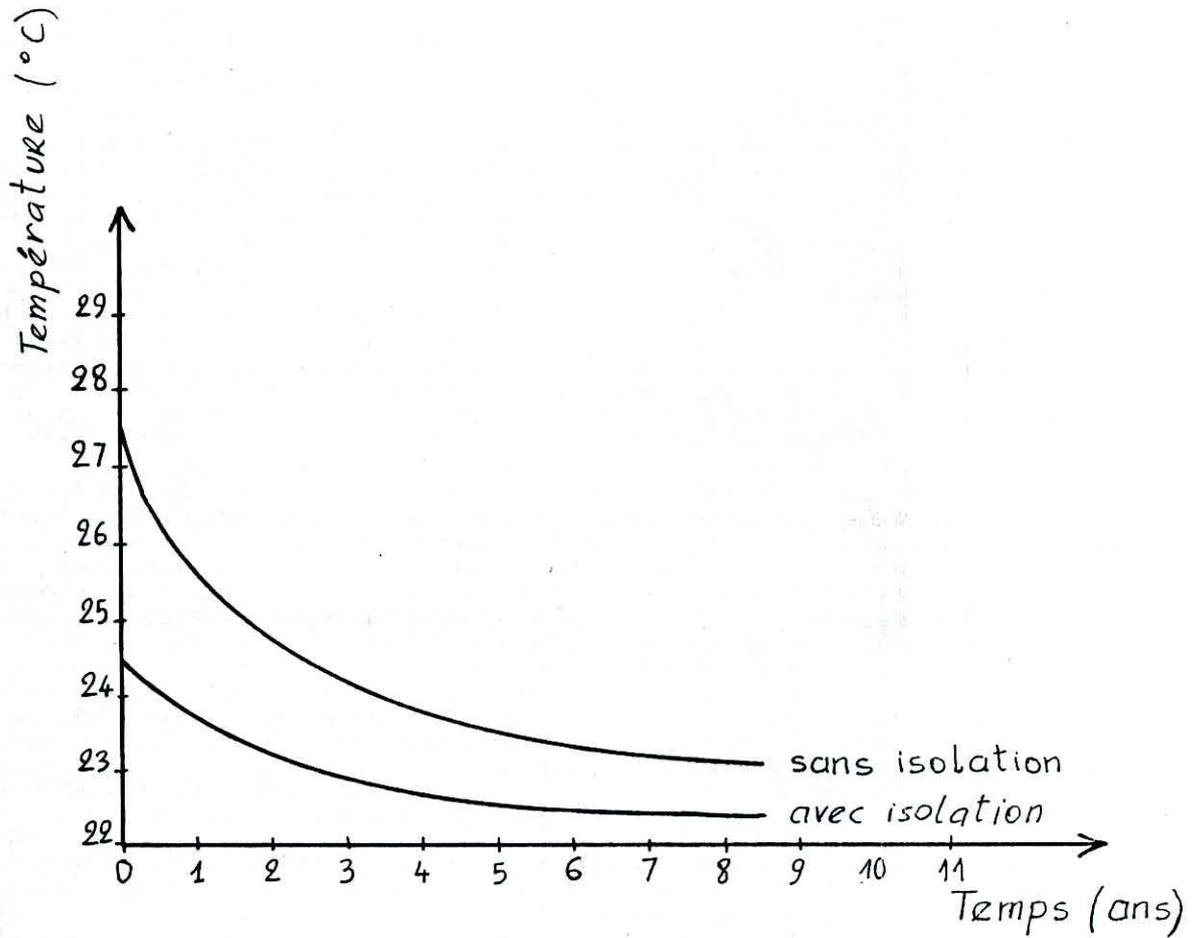


Figure 8 : Variation de la température de l'air en fonction du temps.

#### V.1.5. *Evacuation des roches abattues par les voies de retour d'air*

Le transport des roches abattues dans les voies de retour d'air assainirait l'atmosphère des voies d'entrée d'air, éliminerait l'échauffement dû aux phénomènes d'oxydation et de refroidissement des produits abattus, et par surcroît l'action calorifique due aux engins de transport.

#### V.1.6 *Le dosage strict de l'eau utilisée pour la lutte contre les poussières*

La réduction au minimum indispensable de l'eau utilisée pour la lutte contre les poussières a le même effet hygrométrique de l'air que celui signalé au point V.1.3 au sujet de l'assèchement des voies d'entrée d'air.

### V.2. LE REFROIDISSEMENT DE L'AIR DES CHANTIERS D'ABATTAGE

Lorsque, en dépit des précautions prises, les facteurs du climat sont tels qu'on s'approche de la condition limite, il faut recourir à la réfrigération artificielle de l'air.

A l'entrée du chantier à réfrigérer, c'est-à-dire généralement au pied de la taille, on dispose un échangeur de chaleur par surface dans lequel circule d'une part de l'eau réfrigérée et (d'autre part l'air) de ventilation à refroidir. Cet échangeur ne peut pas être trop encombrant. D'autre part, l'échangeur doit périodiquement être déplacé en fonction de l'avancement du front d'abattage. Pour permettre cette manoeuvre, il doit être léger et robuste et pouvoir s'installer sans travaux préalables sur un sol inégal. Pour toutes ces raisons, la surface de refroidissement de l'appareil doit être

relativement faible, ce qui exige que la différence des températures de l'eau et de l'air, à la faveur de laquelle s'effectuera la transmission calorifique, soit élevée. De plus, il y a avantage à refroidir l'air, forcément assez humide, jusqu'en dessous de sa température de rosée, car sa transformation comportera alors une importante condensation de vapeur d'eau et par conséquent un assèchement du plus haut intérêt au point de vue climatique.

Si le débit d'air est assez élevé, la plus grande longueur de la taille présente, après ce traitement, une ambiance relativement confortable pour le travail des mineurs. Car si la température sèche de l'air remonte assez rapidement, la température humide s'accroît dans le chantier plus lentement, l'effet de l'assèchement de l'air se faisant sentir d'une façon plus durable, à moins qu'il ne se présente des circonstances favorables à d'importantes revaporations d'eau (eau mouillant les fronts et le mur, infiltrations d'eau par le toit, pulvérisation d'eau, etc...). La longueur sur laquelle s'étend l'effet bienfaisant de la réfrigération de l'air au pied de la taille diminue toutefois en même temps que le débit d'air de ventilation.

Le diagramme de la figure 9 donne à cet égard des précisions numériques. On y a comparé les résultats obtenus par un même échangeur recevant un même débit d'eau réfrigérée à la même température d'entrée, mais pour deux débits d'air différents  $Q_1$  et  $Q_2$  tels que  $Q_1 = 0,75 Q_2$  (par exemple  $Q_2 = 10 \text{ Kg/s}$  et  $Q_1 = 7,5 \text{ Kg/s}$ ). Pour le débit  $Q_1$ , le plus faible, l'air sort de l'échangeur à l'état saturé à  $12^\circ\text{C}$  en y ayant pris  $250000 \text{ Kcal/h}$ . Si le débit d'air est  $Q_2$ , la transmission frigorifique

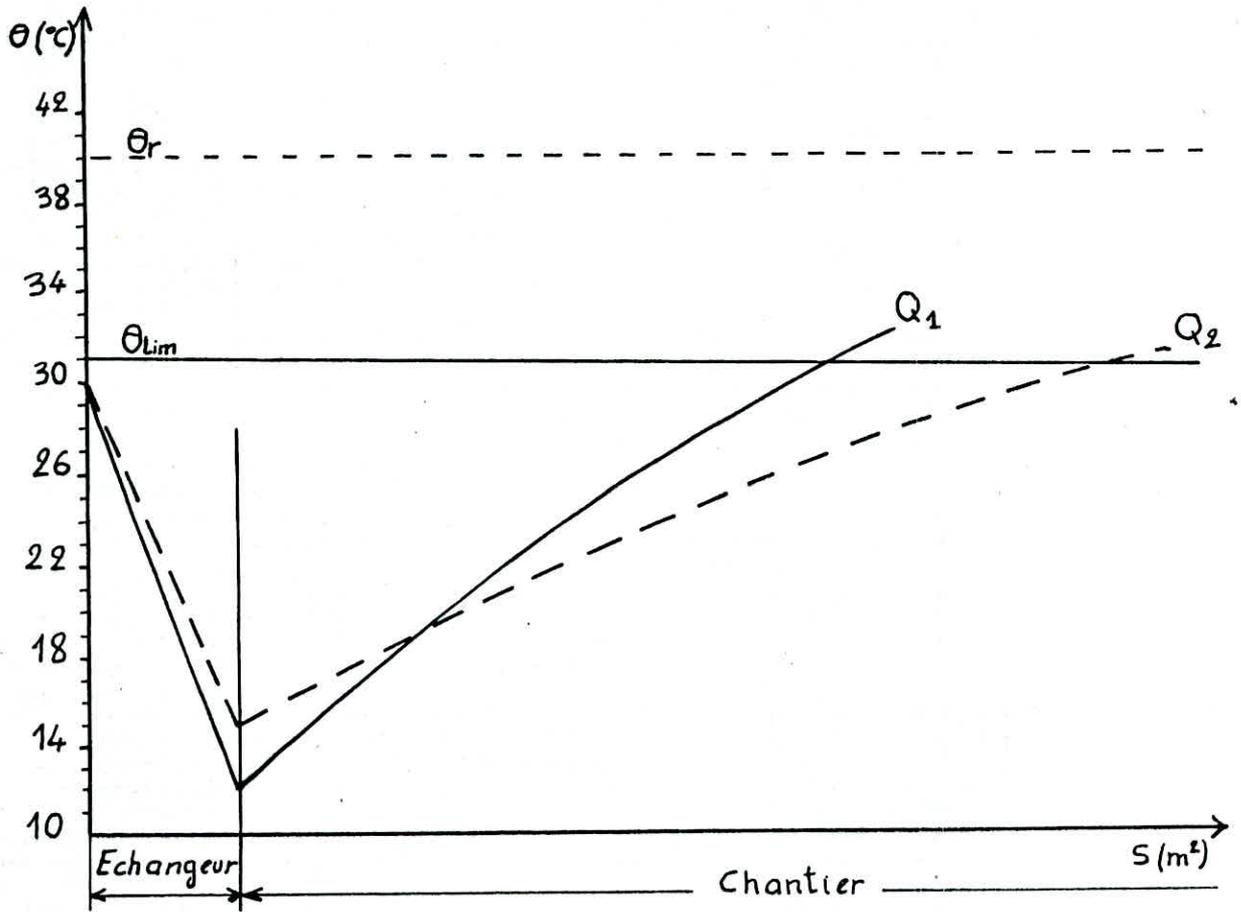


Figure 9: Refroidissement de l'air d'une taille

de l'échangeur atteint 270000 Kcal/h; mais l'air ne sort de l'appareil qu'à l'état saturé à 15 °C. Les courbes montrent comment évolue ensuite la température de l'air le long du chantier en fonction de la surface S des parois supposées à la température  $\theta_r = 40$  °C, au contact desquelles il circule. On voit donc que, même avec une réfrigération artificielle, la réalisation d'un débit d'air élevé conserve tout son intérêt.

### V.3. LES MACHINES FRIGORIFIQUES

L'eau réfrigérée alimentant les échangeurs doit être préparée au moyen d'une machine frigorifique.

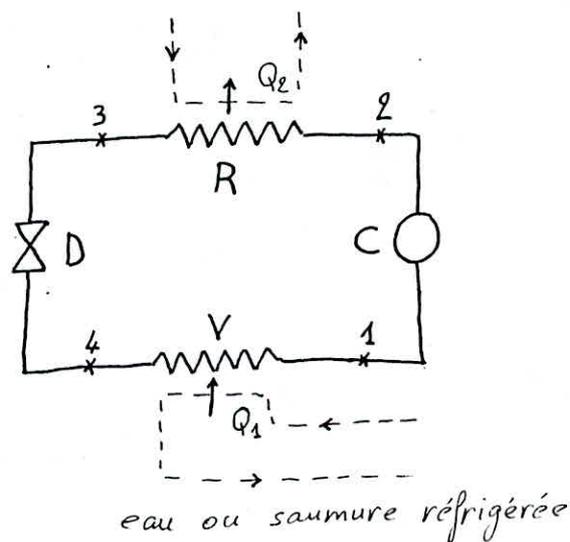


Fig. 10 : Schéma d'une machine frigorifique

Une telle machine, représentée schématiquement à la figure 10, comprend un compresseur C, un condenseur R, un détendeur D et un évaporateur V, formant un circuit fermé dans lequel le fluide frigorigène parcourt un cycle continu. Pour décrire le plus simplement ce cycle, nous aurons recours à la courbe de

vaporisation du fluide (Cf figure 11), c'est-à-dire celle représentant dans un système d'axes,  $O\theta$  (abscisses),  $OP$  (ordonnées) les températures d'ébullition ou de condensation du fluide pour différentes pressions. Le fluide entre dans l'évaporateur V au point 4 à l'état presque complètement liquide et y passe à l'état gazeux sous la pression  $P_1$  à laquelle correspond une température d'ébullition  $\theta_1$  basse (par exemple  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ ). Il absorbe ainsi une quantité de chaleur  $Q_1$  prise au milieu extérieur qui, en cette occurrence, peut être de l'eau ou une solution incongelable (une saumure par exemple). Cette absorption de  $Q_1$  constitue en fait l'effet frigorifique de l'appareil. Le compresseur C aspire le fluide au point 1 à l'état gazeux sous la pression  $P_1$  et le comprime jusqu'à une pression  $P_2$  à laquelle correspond une température de condensation  $\theta_2$  (par exemple  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ). Cette température (donc le point II de la pression  $P_2$ ) doit être choisie de telle sorte qu'il soit possible d'y faire passer le fluide à l'état liquide en lui retirant par une circulation d'eau à la température de l'ambiance ( $18$  à  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ) une chaleur  $Q_2$  comprenant entre autres sa chaleur latente de condensation. En réalité, la compression relève la température du fluide jusqu'à une valeur  $\theta_{11}$  toujours supérieure à  $\theta_2$ : on dit que l'état de la substance est alors un état de vapeur surchauffé. La transformation qui s'opère en R entre les points 2 et 3 et au cours de laquelle on soustrait au fluide  $Q_2$  Kcal d'une façon isobare (sous la pression  $P_2$ ) comprend le refroidissement de la vapeur  $\theta_{11}$  à  $\theta_2$ , son état après cette désurcharge étant celui de vapeur saturée sèche, puis sa condensation à la température  $\theta_2$  après laquelle son état devient liquide. A partir de l'état 3, le liquide est détendu

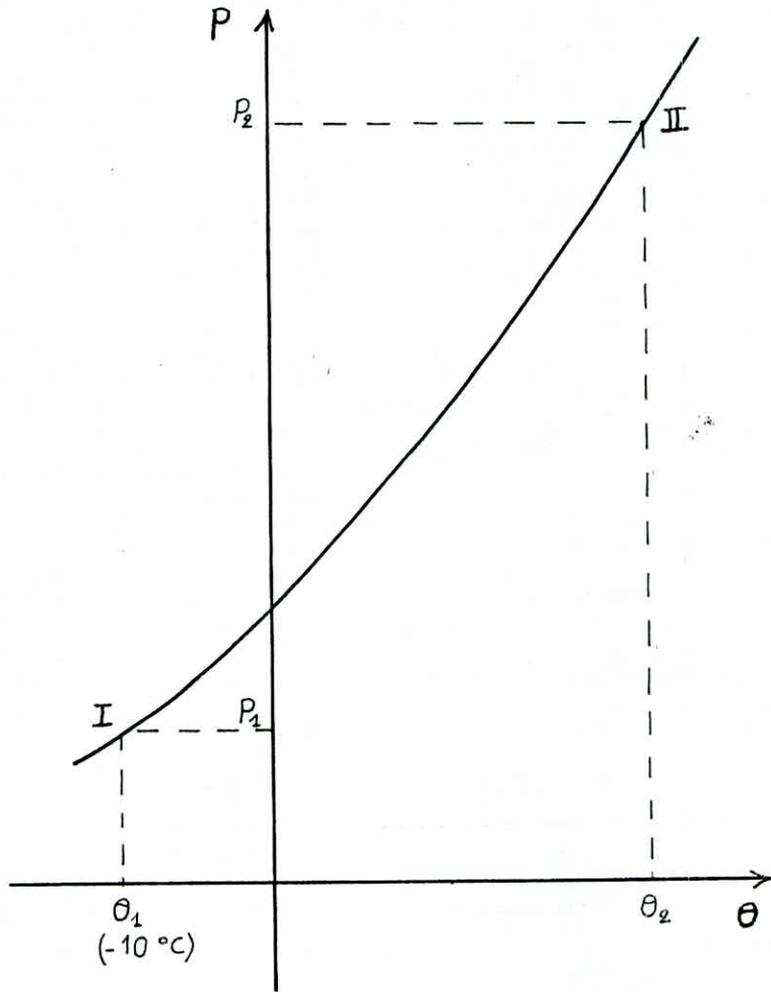


Figure 11 : Courbe de vaporisation  
du fluide.

par le détendeur D de la pression  $P_2$  à celle  $P_1$ . Cette détente adiabatique entraîne une diminution de la température du fluide jusqu'à celle  $\theta_1$ , diminution qui a reçu en thermodynamique le nom d'effet Joule-Thomson. A partir de 4, le fluide, déjà légèrement vaporisé par la détente, continue le cycle.

CHAPITRE VI  
EVALUATION DE LA TEMPERATURE DE L'AIR  
DANS LA MINE DE CHARBON DE HAUTE-SILESIE [8]

Dans ce chapitre, nous allons calculer la température de l'air aux points suivants (Cf. figure 12):

- Point 1: fond du puits d'entrée d'air,
- Point 2: fin de la galerie de roulage,
- Point 3: fin de la galerie de trainage,
- Point 4: fin de la galerie de traçage,
- Point 5: fin de la taille.

### VI.1. PUIITS D'ENTREE D'AIR

La température de l'air, au fond du puits d'entrée d'air, est donnée par la formule suivante:

$$\theta_1 = \theta_a + \psi \cdot \Delta\theta + \Omega \cdot \Delta\theta_z \quad (1)$$

$\theta_a$ : température de l'air atmosphérique (°C)

$\psi \cdot \Delta\theta$ : augmentation de la température de l'air due aux échanges thermiques entre les roches et l'air.

$\Omega \cdot \Delta\theta_z$ : augmentation de la température de l'air due à l'autocompression de l'air.

$\psi$  et  $\Omega$ : coefficients qui tiennent compte des conditions naturelles des terrains et les caractéristiques du puits.

$$\psi = 0,038$$

$$\Omega = 0,95$$

$$\theta_a = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = \theta_o - \theta_a$$

$\theta_o$ : température constante des terrains (°C)

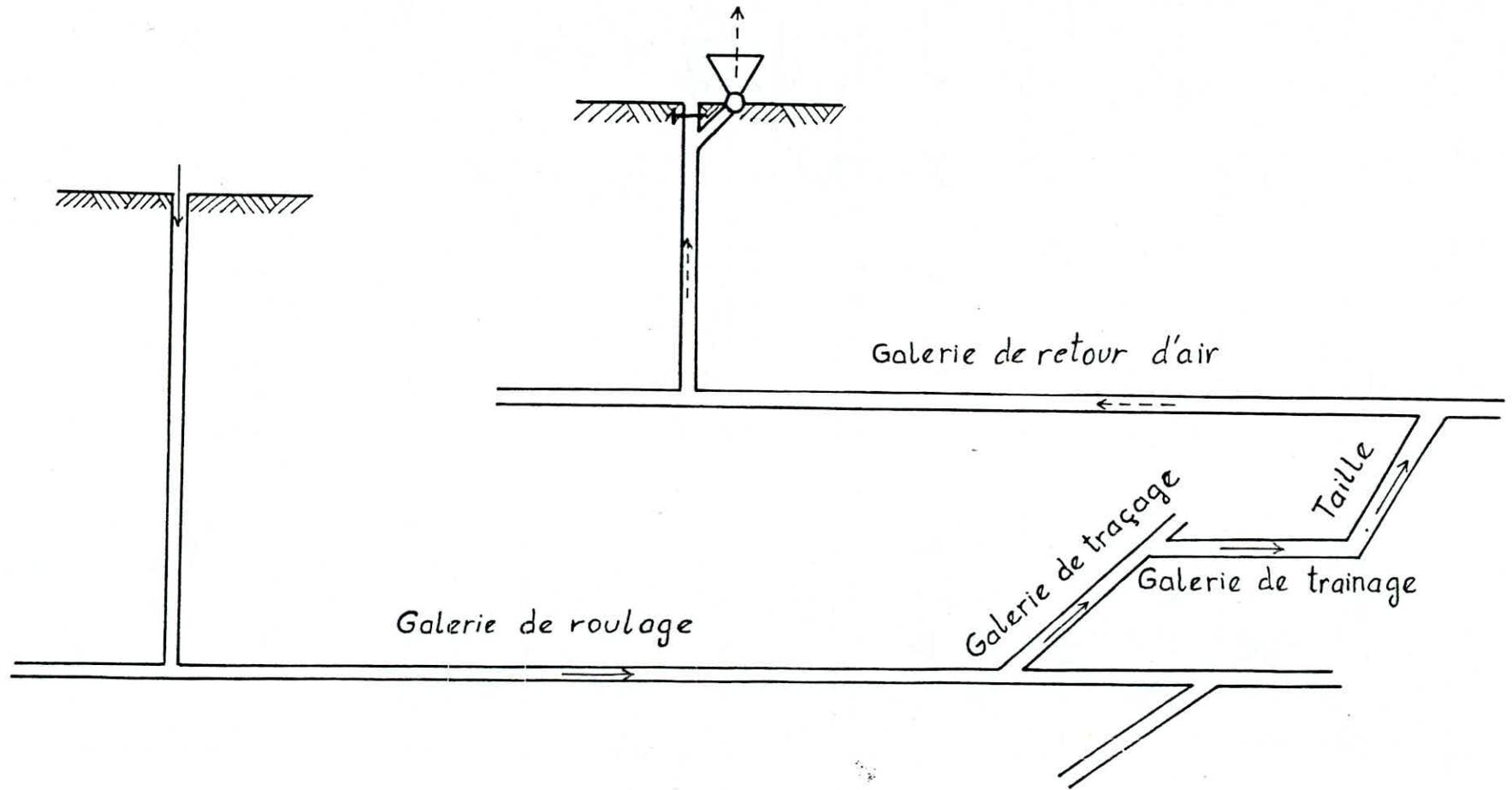


Fig 12: Schéma spatiale de la mine

$$\theta_0 = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = 9 - 8; \quad \Delta\theta = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_z = z (g/C_p) \sin\beta + M.z.\delta.\sin\beta$$

$$\Delta\theta_z = [(g/C_p) + M.\delta] z \sin\beta$$

g: accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup>)

$\delta$ : gradient géothermique (°C/m)

C<sub>p</sub>: chaleur spécifique de l'air (J/Kg °C)

M: coefficient

z: profondeur du puits d'entrée d'air (m)

$\beta$ : pendage du puits d'entrée d'air (degré)

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$C_p = 1005 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$z = 1000 \text{ m}$$

$$\beta = 90^\circ \quad (\text{puits vertical})$$

$$\delta = 1/\Gamma$$

$\Gamma$ : degré géométrique (m/°C)

$$\Gamma = 32 \text{ m/}^\circ\text{C}$$

$$\delta = 1/32; \quad \delta = 0,031 \text{ } ^\circ\text{C/m}$$

$$M = (1/\Omega) - 1$$

$$M = (1/0,95) - 1; \quad M = 0,052$$

$$\Delta\theta_z = [(9,81/1005) + 0,052 \times 0,031] \times 1000 \times \sin 90$$

$$\Delta\theta_z = 11,37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{d'où } \theta_1 = 8 + 0,038 \times 1 + 0,95 \times 11,37$$

$$\theta_1 = 18,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## VI.2. EXCAVATIONS HORIZONTALES

Avant de commencer les calculs, nous vous présentons les symboles utilisés

$\theta_1$  température au début de l'excavation

A	coefficient de l'étendue de variation de la température de l'air
B	facteur d'échange thermique entre les terrains et l'air
$\theta_r$	température du massif vierge
q	bilan de chaleur dégagée par les différentes sources par 1 Kg d'air
$K_T$	coefficient d'échange thermique entre les terrains et l'air en régime variable
P	périmètre de la section de l'excavation
L	longueur de l'excavation
$G_m$	débit massique de l'air
$\lambda$	conductivité thermique des roches entourant l'excavation.
$\alpha$	coefficient de convection
$R_0$	rayon équivalent
b	effusivité thermique
$\tau$	temps d'aérage de la galerie
$\xi$	coefficient de rugosité des parois
S	section de la galerie
$G_v$	débit volumique de l'air
$\gamma_a$	poids spécifique de l'air
V	vitesse du courant d'aérage
$C_p$	chaleur spécifique des roches entourant l'excavation
$\gamma$	masse volumique des roches entourant l'excavation
z	profondeur de l'excavation
$z_0$	profondeur de l'horizon de température constante
$\Gamma$	degré géothermique
$Q_{ox}$	quantité de chaleur dégagée par l'oxydation des parois
$Q_{r.a}$	quantité de chaleur dégagée par les roches abattues

- $Q_{1.e}$  quantité de chaleur dégagée par les locomotives électriques
- $Q_{m.e}$  quantité de chaleur dégagée par les moteurs électriques
- $Q_{ou}$  quantité de chaleur dégagée par les ouvriers
- $q_0$  dégagement spécifique de la chaleur dû à l'oxydation des parois
- $K_s$  coefficient de convection entre le stérile et l'air
- $K_c$  coefficient de convection entre le charbon et l'air
- $n_s$  nombre de berlines nécessaire pour transporter le stérile
- $n_c$  nombre de berlines nécessaire pour transporter le charbon
- $\Delta\theta_s$  difference de température entre le stérile et l'air
- $\Delta\theta_c$  difference de température entre le charbon et l'air
- $S_b$  section horizontale des berlines
- $Q_s$  quantité de stérile extraite par jour
- $V_b$  capacité des berlines
- $\gamma_s$  masse volumique du stérile
- $\tau_t$  temps de transport
- $Q_c$  quantité de charbon extraite par jour
- $\gamma_c$  masse volumique du charbon
- $\theta_e$  température estimée
- $K$  coefficient qui caractérise le taux de transformation de l'énergie électrique en chaleur
- $n$  nombre d'ouvrier travaillant dans la taille
- $N$  puissance des moteurs électriques
- $b$  largeur de la bande du convoyeur

La température de l'air, à la fin de la galerie de roulage, est donnée par la formule suivante:

$$\theta_z = \frac{(A - B) \cdot \theta_1 + 2B \cdot \theta_r + q}{A + B}$$

$$A = 0,738 \text{ Kcal/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$B = \frac{K_\tau \cdot P \cdot L}{2 G_m \times 3600}$$

$$K_\tau = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{2\alpha \cdot R_o}} \left[ \frac{\lambda}{2 R_o} + \frac{b}{2 \sqrt{\tau} \left( 1 + \frac{\lambda}{2 \cdot R_o} \right)} \right]$$

$$\lambda = 1,27 \text{ Kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \text{ (roches entourant la galerie: grès)}$$

$$\alpha = \frac{2 \mathcal{E} (G_m)^{0,8} \cdot \theta \cdot (P)^{0,2}}{S}$$

$$\mathcal{E} = 2$$

$$G_m = G_v \cdot \gamma_a$$

$$G_v = S \cdot V$$

$$V = 6 \text{ m/s}$$

$$S = 14,3 \text{ m}^2$$

$$G_v = 14,3 \times 6; \quad G_v = 85,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\gamma_a = 1,2 \text{ Kg/m}^3$$

$$G_m = 85,8 \times 1,2; \quad G_m = 102,96 \text{ Kg/s}$$

$$P = 4 \sqrt{S}$$

$$P = 4 \sqrt{14,3}; \quad P = 15,13 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{2 \times 2 \times 102,96^{0,8} \cdot \theta \times 15,13^{0,2}}{14,3};$$

$$\alpha = 19,62 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_o = 0,564 \sqrt{S}$$

$$R_o = 0,564 \sqrt{14,3}; \quad R_o = 2,13 \text{ m}$$

$$b = 1,13 \sqrt{\lambda \cdot C_p \cdot \gamma}$$

$C_p = 0,22 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$  (roches entourant la  
galerie: grès)

$\delta = 2600 \text{ Kg/m}^3$  (roches entourant la  
galerie: grès)

$$b = 1,13 \sqrt{1,27 \times 0,22 \times 2600}; \quad b = 30,45 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\tau = 175200 \text{ h}$$

$$K_\tau = \frac{1}{1 + \frac{1,27}{2 \times 19,62 \times 2,13}} \left[ \frac{1,27}{2 \times 2,13} + \frac{30,45}{2 \times 175200 \left( 1 + \frac{1,27}{2 \times 19,62 \times 2,13} \right)} \right]$$

$$K_\tau = 0,33 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$B = \frac{0,33 \times 15,13 \times 2000}{2 \times 102,96 \times 3600}; \quad B = 0,013$$

$$\theta_r = \theta_o + \frac{z - z_o}{\Gamma}$$

$$z = 1000 \text{ m}$$

$$z_o = 25 \text{ m}$$

$$\theta_r = 9 + [(1000 - 25)/32]; \quad \theta_r = 39,47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q = \sum Q / (3600 \times G_m)$$

$$= (Q_{ox} + Q_r + Q_i + Q_m + Q_{ou}) / (3600 \times G_m)$$

$$Q_{ox} = q_o \cdot P \cdot L$$

$$q_o = 4,5 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$$

$$Q_{ox} = 4,5 \times 15,13 \times 2000; \quad Q_{ox} = 136170 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{r.a} = (K_s \cdot n_s \cdot \Delta\theta_s + K_c \cdot n_c \cdot \Delta\theta_c) S_b$$

$$K_s = 20 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$K_c = 33 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$S_b = 3 \text{ m}^2$$

$$n_s = \frac{Q_s}{V_b \cdot \delta_s \cdot \tau_t}$$

$$Q_s = 487,5 \text{ t/j}$$

$$V_b = 2,6 \text{ m}^3$$

$$\gamma_s = 2,6 \text{ t/m}^3$$

$$\tau_t = 16 \text{ h}$$

$$n_s = 487,5 / (2,6 \times 2,6 \times 16); \quad n_s = 4,5$$

Nous prenons:  $n_s = 5$  berlines

$$n_c = \frac{Q_c}{V_b \cdot \gamma_c \cdot \tau_t}$$

$$n_c = 1950 / (2,6 \times 1,3 \times 16); \quad n_c = 36,06$$

Nous prenons:  $n_c = 36$  berlines

$$\Delta\theta_s = \theta_r - 3 - \theta_e$$

$$\theta_e = \theta_1 + 4$$

$$\theta_e = 18,84 + 4; \quad \theta_e = 22,84 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_s = 39,47 - 3 - 22,84; \quad \Delta\theta_s = 13,63 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_c = \theta_r - 2 - \theta_e$$

$$\Delta\theta_c = 39,47 - 2 - 22,84; \quad \Delta\theta_c = 14,63 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{r.a} = (20 \times 5 \times 13,63 + 33 \times 36 \times 14,63) \times 3$$

$$Q_{r.a} = 56230,32 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{1.e} = \frac{860 \cdot K \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot (Q_s + Q_c)}{\tau_t}$$

$$K = 0,25$$

$$Q_{1.e} = 860 \times 0,25 \times 2000 \cdot 10^{-3} \times (1950 + 487,5) / 16$$

$$Q_{1.e} = 65507,81 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{m.e} = 500 \cdot N$$

$$N = 230 \text{ Kw}$$

$$Q_{m.e} = 500 \times 230; \quad Q_{m.e} = 115000 \text{ Kcal/h}$$

$$q = (136170 + 56230,32 + 65507,81 + 115000) / (3600 \times 102,96)$$

$$q = 1,00 \text{ Kcal/Kg}$$

$$z = [(0,738 - 0,013) \times 18,84 + 2 \times 0,013 \times 39,47 + 11 / (0,738 + 0,013)]$$

$$\theta_{\pm} = 20,88 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Les données et les résultats de calcul sont récapitulés dans les tableaux suivants:

Symboles	Unités	Données			
		Galerie de roulage	Galerie de trainage	Galerie de traçage	Taille
$\Gamma$	m/°C	32	32	32	32
z	m	1000	1000	1000	1000
$\theta_0$	°C	9	9	9	9
$z_0$	m	25	25	25	25
L	m	2000	1500	400	230
S	m <sup>2</sup>	14,3	8,5	8	3,4
$\gamma_a$	Kg/m <sup>3</sup>	1,2	1,2	1,2	1,2
v	m/s	6	4	2	2
$\lambda$	Kcal/m.h °C	1,27	1,27	1,27	0,15
$C_p$	Kcal/Kg °C	0,22	0,22	0,22	0,25
$\gamma$	t/m <sup>3</sup>	2,6	2,6	2,6	1,3
$\gamma_c$	t/m <sup>3</sup>	1,3	1,3	—	—
l	m	—	—	1	0,6
$\tau$	h	175200	131400	87600	800
$q_0$	Kcal/m <sup>2</sup> h	4,5	6,5	6,5	14
$Q_c$	t/j	1950	1000	—	—
$Q_s$	t/j	487,5	100	—	—
$V_b$	m <sup>3</sup>	2,6	2,6	—	—
$\tau_t$	h	16	16	—	—
$S_b$	m <sup>2</sup>	3	3	—	—
$K_s$	Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C	20	20	—	—
$K_c$	Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C	33	33	33	33
K	—	0,25	0,25	—	—
N	Kw	230	—	30	130
A	Kcal/Kg °C	0,738	0,8	0,86	0,93
n	—	—	—	—	50

Sym- boles	Unités	Résultats			
		Galerie de roulage	Galerie de trainage	Galerie de traçage	Taille
$\theta_1$	°C	18,84	20,88	23,32	26,79
$\theta_r$	°C	39,47	39,47	39,47	39,47
P	m	15,13	11,66	11,31	7,37
$R_o$	m	2,13	1,64	1,59	1,04
$G_v$	m <sup>3</sup> /s	85,8	34	16	6,8
$G_m$	Kg/s	102,96	40,8	19,2	8,16
$\alpha$	Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C	19,62	14,94	8,63	9,41
b	Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C	30,45	30,45	30,45	7,89
$K_c$	Kcal/m <sup>2</sup> .h.°C	0,33	0,42	0,43	0,21
B	Kcal/Kg.°C	0,013	0,025	0,014	0,006
$n_s$		5	1	—	—
$n_c$		36	19	—	—
$Q_{ox}$	Kcal/h	136170	113685	29406	23731,4
$\theta_e$	°C	22,84	24,88	27,32	30,79
$\Delta\theta_s$	°C	13,63	11,59	—	—
$\Delta\theta_c$	°C	14,63	12,59	10,15	6,68
$Q_{r.a}$	Kcal/h	56230,32	24377,19	133980	30420,72
$Q_{1.e}$	Kcal/h	65507,81	22171,87	—	—
$Q_{m.e}$	Kcal/h	115000	—	15000	65000
$Q_{ou}$	Kcal/h	—	—	—	12500
q	Kcal/Kg	1	1,09	2,58	4,48
$\theta_z$	°C	20,88	23,32	26,79	31,74

La valeur de la quantité de la chaleur dégagée par les ouvrier  $Q_{ou}$ , est calculée à partir de la formule suivante:

$$Q_{ou} = 250.n$$

Dans le cas de la galerie de traçage et de la taille, la valeur de la quantité de chaleur  $Q_{r.a}$  dégagée par les roches abattues est donnée par la formule suivante:

$$Q_{r.a} = K_c . \Delta\theta_c . L . l$$

### VI.3. CHOIX D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE

La quantité de froid fournie par la machine frigorifique doit être suffisante pour abaisser la température de l'air et liquifier une partie de la vapeur d'eau qui se trouve dans l'air.

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Q: quantité de froid fournie par la machine frigorifique  
(Kcal/h)

Q<sub>1</sub>: quantité de froid nécessaire pour abaisser la température  
de l'air (Kcal/h)

Q<sub>2</sub>: quantité de froid nécessaire pour liquifier la vapeur  
d'eau (Kcal/h)

Déterminons la quantité de chaleur q<sub>1</sub> contenue dans 1 Kg  
d'air humide à l'entrée de l'échangeur (c'est-à-dire l'enthalpie  
de l'air humide).

Soit i<sub>1</sub>: quantité de chaleur contenue dans 1 Kg d'air sec  
(Kcal/Kg)

i<sub>2</sub>: quantité de chaleur contenue dans 1 Kg de vapeur  
(Kcal/Kg)

α: humidité absolue de l'air humide à l'entrée de  
l'échangeur (Kg/Kg)

(i<sub>1</sub> + i<sub>2</sub>.α) représente la quantité de chaleur contenue dans  
(1 + α) Kg d'air humide.

d'où q<sub>1</sub> = (i<sub>1</sub> + i<sub>2</sub>.α)/(1 + α)

$$i_1 = C_{p1} \cdot \theta$$

$$i_2 = Q_e + C_{p2} \cdot \theta$$

C<sub>p1</sub>: chaleur spécifique de l'air (Kcal/Kg.°C)

C<sub>p2</sub>: chaleur spécifique de la vapeur (Kcal/Kg.°C)

Q<sub>e</sub>: chaleur d'évaporation (Kcal/Kg)

θ: température de l'air à l'entrée de l'échangeur (°C)

$$C_{p1} = 0,24 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_{p2} = 0,46 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C}$$

$$Q_e = 595 \text{ Kcal/Kg}$$

L'humidité absolue α est donnée par le diagramme de l'air  
humide (Cf. figure 13) en connaissant les valeurs de la

température  $\theta$  et de l'humidité relative,  $\Phi$ .

$$\theta = 26,79 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Phi = 90\%$$

$$\Rightarrow \alpha = 0,020 \text{ Kg/Kg}$$

$$q_1 = [0,24 \times 26,79 + (595 + 0,46 \times 26,79) \times 0,020] / (1 + 0,020)$$

$$q_1 = 18,21 \text{ Kcal/Kg.}$$

Déterminons la quantité de chaleur  $q_2$  contenue dans 1 Kg d'air humide à la sortie de l'échangeur.

$$q_2 = [C_{p1} \cdot \theta' + (Q_e + C_{p2} \cdot \theta') \cdot \alpha'] / (1 + \alpha')$$

$\theta'$ : température de l'air à la sortie de l'échangeur ( $^\circ\text{C}$ )

$\alpha'$ : humidité absolue de l'air à la sortie de l'échangeur (Kg/Kg)

La machine frigorifique que nous installons, abaisse la température de l'air de 26,79  $^\circ\text{C}$  jusqu'à 20  $^\circ\text{C}$ . Ainsi l'air qui sort de l'échangeur est saturé à 20  $^\circ\text{C}$ .

$$\text{Sachant } \theta' = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{et } \Phi' = 100\%$$

$$\Rightarrow \alpha' = 0,015 \text{ Kg/Kg}$$

$$q_2 = [0,24 \times 20 + (595 + 0,46 \times 20) \times 0,015] / (1 + 0,015)$$

$$q_2 = 13,66 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_1 = (q_1 - q_2) \cdot G_m \times 3600$$

$$G_m = 8,16 \text{ Kg/s}$$

$$Q_1 = (18,21 - 13,66) \times 8,16 \times 3600$$

$$Q_1 = 133660,8 \text{ Kcal/h.}$$

La quantité de vapeur liquifiée après passage de l'air dans l'échangeur est donnée par la différence des humidité absolues  $\alpha$  et  $\alpha'$ .

$$0,020 - 0,015 = 0,005 \text{ Kg/Kg}$$

$$\text{d'où } Q_2 = 0,005 \times Q_e \cdot G_m \times 3600$$

$$Q_2 = 0,005 \times 595 \times 8,16 \times 3600$$

$$Q_2 = 87393,6 \text{ Kcal/h}$$

$$Q = 133660,8 + 87393,6$$

$$Q = 221054,4 \text{ Kcal/h.}$$

Donc, nous choisissons une machine frigorifique de puissance supérieure à 221054,4 Kcal/h.

La température de l'air à la fin de la taille sera:

$$\theta_z = [(0,93 - 0,006) \times 20 + 2 \times 0,006 \times 39,47 + 4,481 / (0,93 + 0,006)]$$

$$\theta_z = 25,03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

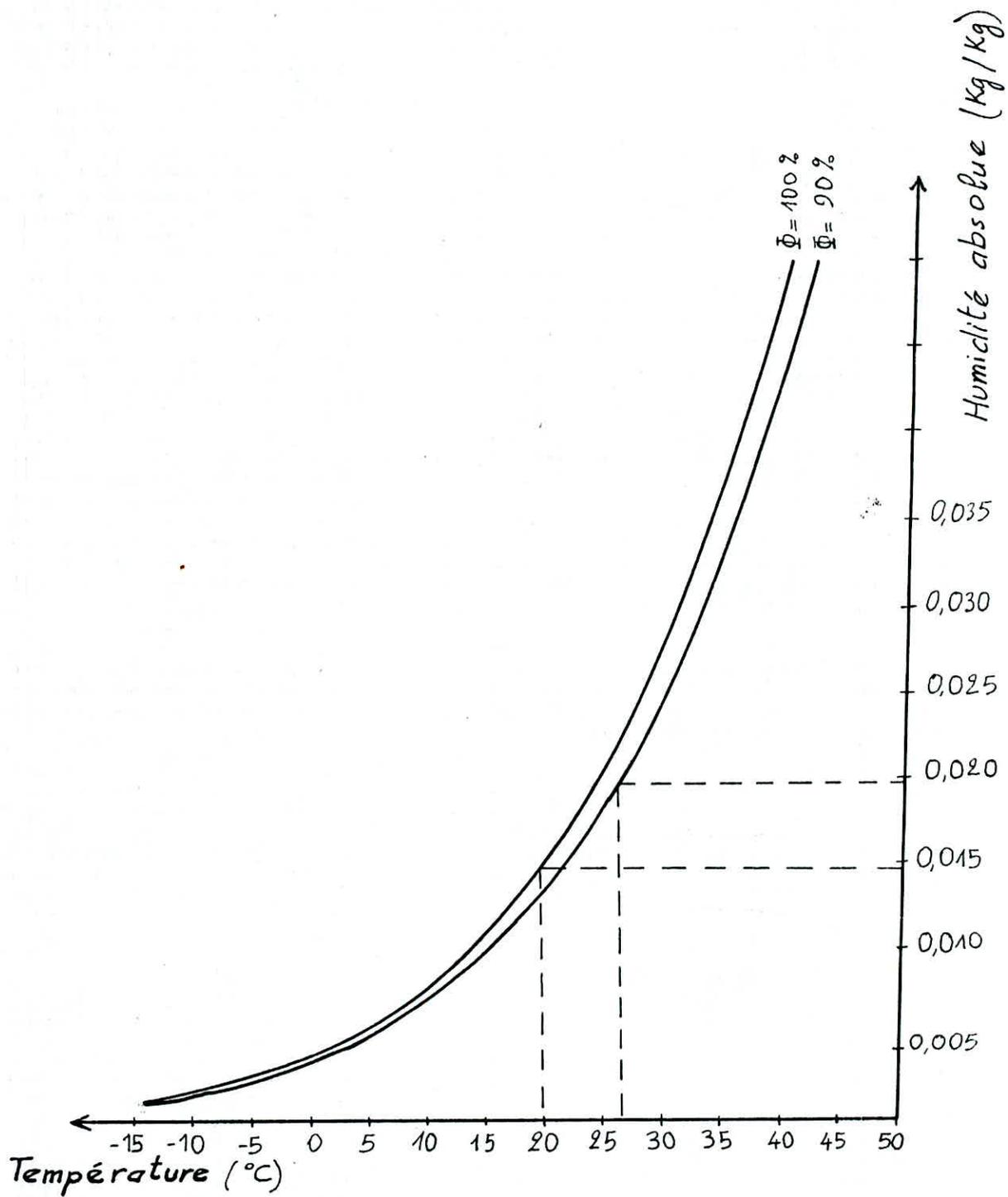


Fig.13: Diagramme d'air humide

Au bout de cette étude, nous avons pu mettre en évidence les différents facteurs (massifs, oxydation) influençant la température de l'air d'une mine.

La précision de ces facteurs nous a permis d'établir les mesures (installation de machines frigorifiques) qu'il est nécessaire de prendre afin de pallier aux nuisances (augmentation du rythme cardiaque, apparition de la faiblesse) engendrée par d'éventuelles élévations de température.

L'application faite à la mine de charbon de Haute-Silésie donne une idée concrète sur le mode d'action à entreprendre dans les conditions de température élevée; à savoir l'installation d'une machine frigorifique au pied de la taille ce qui permettra d'abaisser la température, tout en offrant de meilleures conditions de travail aux mineurs.

Nous souhaitons que cette étude puissent servir de base à des applications aux mines Algérienne qui présentent des problèmes sérieux de climat; c'est le cas notamment de la mine d'El-Abed où il nous a été possible d'apprécier les difficultés rencontrées par les mineurs en conséquence des conditions climatiques défavorables.

Nous regrettons profondément le fait qu'il nous a été impossible d'appliquer le modèle de calcul proposé, vue l'indisponibilité des données nécessaires et l'inexistence de moyens permettant leur appréciation.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] L. CHAINEAUX,  
Atmosphère des mines: Revue de l'industrie minière  
(1962).
- [2] A. HOUBERECHTS,  
Température - Humidité - Climat: Revue de l'industrie  
minière (1962).
- [3] D. SEELEMANN,  
Influence du climat des chantiers sur l'activité des  
mineurs: Revue de l'industrie minière (1973).
- [4] A. HOUBERECHTS,  
La climatisation des mines profondes: Revue de l'industrie  
minière (1962).
- [5] F. LAVENNE,  
Le problème des hautes températures dans les mines de  
charbon: Revue de l'institut d'hygiène des mines (1965).
- [6] BOKY,  
Exploitation des mines. Edition Mir (1968).
- [7] V. VIDAL,  
Exploitation des mines, tome 2. Dunod (1962).
- [8] A. FRYCZ,  
Poradnik Górnika, tome 3. Katowice (1974).

