

Journée d'Etudes des Centrales de Sauvetage de Belgique

LIEGE, 4 MAI 1953

Compte rendu

Dans le cadre de la Foire Internationale de Liège, à l'initiative de la Centrale de Sauvetage des Charbonnages du Bassin de Liège, le lundi 4 mai se sont réunis en la spacieuse salle des conférences, des professeurs d'université, des ingénieurs, des médecins, des techniciens du sauvetage venus de tous les bassins charbonniers de Belgique.

La séance fut honorée de la présence de M. le Directeur Général des Mines Meyers, de M. Rigo, Administrateur Directeur-Gérant des Charbonnages du Hasard, Président du Conseil d'Administration de la Centrale de Liège, de M. Venter, Directeur d'Inichar, de MM. les Professeurs L. Denoël et Guérin de la Faculté des Mines, Leclerc de la Faculté des Sciences, Moureau et Coppée de la Faculté de médecine de notre Alma Mater, et de nombreuses personnalités appartenant à la Direction de nos charbonnages belges et à l'Administration des Mines.

En ouvrant la séance, M. F. Leloup, Ingénieur en chef aux charbonnages de Wérister, Président du Comité de Surveillance de la Centrale de Liège, après un cordial souhait de bienvenue à tous ceux qui avaient bien voulu apporter leur participation aux travaux de cette journée d'études des Centrales de Belgique, a signalé que, de tout temps en Belgique, médecins et ingénieurs ont mis leurs efforts en commun pour améliorer les conditions de travail dans les charbonnages.

L'approfondissement de nos puits (et certains charbonnages belges détiennent le record mondial de la profondeur des chantiers) a posé dans ces derniers temps à l'industrie charbonnière un problème nouveau « le travail en milieux surchauffés ».

Dans les chantiers de ces charbonnages, situés à grande profondeur, la température de la roche et même celle de l'air ambiant dépasse la température du corps humain et ce fait impose à l'organisme humain des conditions biologiques qui appellent de la part des techniciens une attention toute spéciale.

À l'Institut d'Hygiène des Mines de Hasselt, qui fut créé en 1944 à l'initiative de la Fédération des Associations Charbonnières de Belgique (1) avec, comme programme général, l'étude de toutes les questions intéressant la santé des ouvriers houilleurs, des équipes de médecins et ingénieurs ont depuis plusieurs années poursuivi avec une ténacité et une sagacité auxquelles il faut rendre hommage la solution du problème du travail en milieux chauds et corollairement de celui de l'emploi des appareils de sauvetage en pareilles circonstances.

Le Comité organisateur avait en conséquence invité à sa tribune M. le Professeur Houberechts, Directeur de l'Institut d'Hygiène des Mines de Hasselt, et son collaborateur médecin, le Professeur Lavenne.

Ce que les charbonnages belges ont fait pour améliorer le climat souterrain

par A. HOUBERECHTS,

Professeur à l'Université de Louvain,
Directeur de l'Institut d'Hygiène des Mines, à Hasselt.

Lorsque, sous la contrainte des nécessités économiques, les charbonnages belges ont approfondi leurs puits et mis en exploitation de nouveaux étages en ouvrant des chantiers dans des veines de plus en plus chaudes, la question de la réfrigération des lieux de travail s'est ajoutée aux nom-

breux et difficiles problèmes qu'ont déjà à résoudre les ingénieurs des mines. Par l'exposé du Docteur Lavenne, vous comprendrez comment on est arrivé à fixer les caractéristiques des climats limi-

(1) Aujourd'hui - Fédération Charbonnière de Belgique.

tes que les exploitants ont voulu s'imposer. Divers moyens favorisant le maintien d'un climat supportable par un homme au travail ont aussitôt été étudiés et appliqués. Ce sont : la possibilité d'augmenter le débit d'air de ventilation grâce à l'étude des équipements réduisant au minimum les pertes de charge, le refroidissement préalable des voies d'entrée d'air et l'emploi de procédés de soutènements (par claveaux par exemple) comportant une meilleure isolation thermique et supprimant ou retardant les recarrages qui détruisent l'enveloppe calorifuge déjà formée, l'emploi de moteurs à air comprimé de préférence aux moteurs électriques ou à combustion là où les circonstances économiques le permettent, le transport du charbon par les voies de retour d'air, la disposition des tuyauteries d'air comprimé chaud dans les puits de retour d'air, la pratique du remblayage de préférence à celle du foudroyage, le dosage strict de l'eau utilisée pour la lutte contre les poussières, etc.

Toutefois dans certains cas, la conjugaison de plusieurs de ces moyens n'ayant pas permis d'obtenir un résultat satisfaisant, la réfrigération artificielle est devenue inévitable. Des études relatives au bilan thermique des chantiers d'abattage ont montré qu'il convenait alors de prévoir par chantier une puissance frigorifique de l'ordre de 300 000 à 350 000 frig/h.

Une première installation fut mise en service au Charbonnage de Zwartberg en 1949. Elle est représentée schématiquement à la figure 1. Au pied de la taille (entrée du chantier à refroidir), on dispose un échangeur E par surface, dans

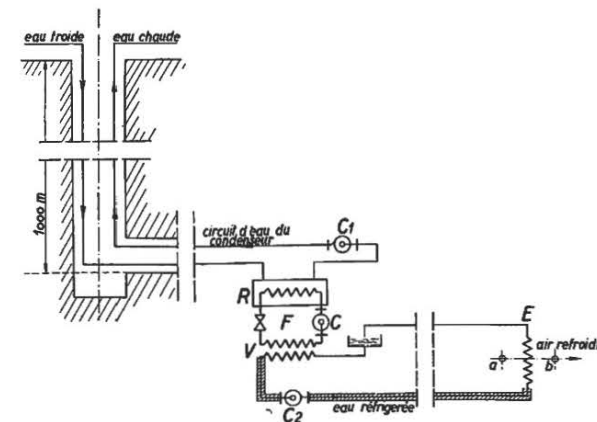


Fig. 1.

lequel circule en circuit fermé de l'eau réfrigérée, maintenue à basse température par une machine frigorifique F dont V est l'évaporateur. L'air de ventilation traverse l'appareil E avant d'entrer dans le chantier et y est refroidi et séché. Cet

échangeur doit être peu encombrant et léger, car il doit périodiquement être déplacé en fonction de l'avancement du front d'abattage. Enfin, et bien qu'il doive être équipé à son entrée d'un filtre anti-poussière et à sa sortie d'un séparateur d'eau, il ne peut présenter une perte de charge élevée, car la puissance absorbée par le ventilateur qu'il comporte doit rester modérée.

Comme le débit d'eau nécessaire à la réfrigération est de l'ordre de 30 à 40 m³/h, il convient de donner aux tuyauteries reliant l'échangeur E à l'évaporateur V, et qui peuvent avoir une longueur de plusieurs centaines de mètres, un diamètre d'environ 125 mm. Celle amenant l'eau de V à E doit être calorifugée et comprend la pompe de circulation C2, tandis que celle ramenant le liquide de E vers V comporte un réservoir d'équilibre situé à une dizaine de mètres au-dessus de V, de façon à maintenir dans les limites admissibles la pression sur le faisceau tubulaire de l'évaporateur V, et à permettre l'addition de l'appoint d'eau nécessaire à la compensation des pertes.

Quant à la machine frigorifique, le fait de l'installer au fond lui impose un certain nombre de sujétions auxquelles la technique peut actuellement faire face. Pour éviter tout risque d'accident en cas de fuite, il faut d'abord que le fluide frigorigène ne soit ni inflammable, ni toxique, ni irritant. Cette condition exclut les fluides frigorigènes classiques, tels que l'ammoniac par exemple, et impose l'usage de fréons, dérivés chlorofluorés du méthane ou de l'éthane, et dont les plus employés

sont le fréon 11 CCl3F, dans les machines utilisant des compresseurs centrifuges et les fréons 12 et 22, respectivement CCl2F2 et CHClF2, dans celles équipées de compresseurs à piston. Ensuite l'obligation d'introduire la machine dans une salle

souterraine en la transportant par le puits et la galerie, limite forcément l'encombrement et le poids des différents éléments qu'elle comporte. De plus, le condenseur R de la machine doit nécessairement être du type fermé et pouvoir supporter des pressions d'eau importantes. En effet, le condenseur sera relié aux installations de surface par deux tuyauteries, l'une d'amenée d'eau, l'autre destinée au retour, le circuit comprenant encore une pompe de circulation C1 compensant les pertes de charge inhérentes à l'écoulement. Si ces conduites ont une hauteur de 1 000 m, la pression de l'eau dans le condenseur sera de l'ordre de 100 kg/cm². Enfin, les tuyauteries du circuit d'eau du condenseur doivent être aussi étroites que possible, car il faut les disposer dans les puits de diamètre relativement faible et encombrés déjà par les traverses, les guidonnages des cages, les paliers avec les échelles, les tuyauteries d'exhaure et d'air comprimé, les câbles électriques, etc. Elles

doivent, de plus, être équipées d'éléments permettant d'absorber leurs dilatations.

Les résultats obtenus par cette première installation furent encourageants, car les températures à l'entrée de la première taille traitée purent être ramenées de $t_a = 27,8^\circ\text{C}$ et $t_b = 21,1^\circ\text{C}$ en février à $t_a = 19,3^\circ\text{C}$ et $t_b = 17,8^\circ\text{C}$ en juin, alors que pendant la même période la production moyenne journalière passait progressivement de 290 tonnes par poste à 370 tonnes par poste. A la sortie de la taille, les températures t_a , t_b restèrent toutefois inchangées, du fait, d'une part, de l'accroissement de la production et de l'éloignement progressif du chantier de son point de départ et, d'autre part, de l'exaspération du dégagement calorifique des terrains le long de la taille, exaspération due à la différence accrue des températures des parois et de l'air en circulation. Cependant, les méthodes d'abattement des poussières, par l'injection d'eau

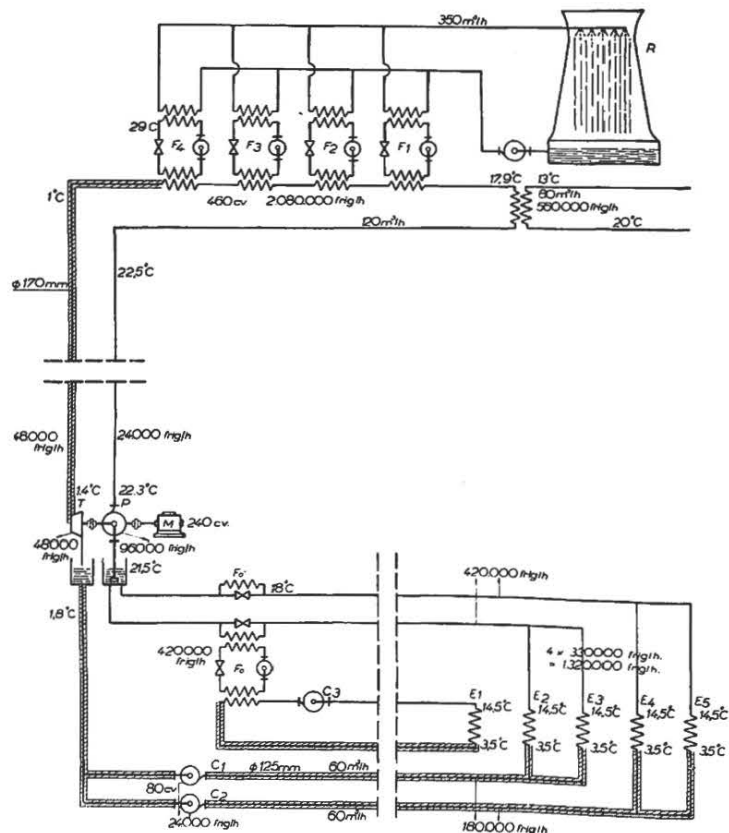


Fig. 2.

dans le massif et par l'emploi de marteaux pneumatiques à pulvérisation d'eau purent se développer dans le chantier, alors qu'avant la mise en service de l'installation frigorifique, ces moyens de protection ne pouvaient être envisagés, à cause de la haute température et du degré hygrométrique élevé.

L'amélioration constatée et la prévision de l'extension de l'exploitation à grande profondeur (au delà de 1 000 m) ont amené dans la suite la direction du Charbonnage de Zwartberg à étendre le principe de la réfrigération artificielle et à décider l'installation de machines capables de réfrigérer quatre tailles supplémentaires.

Les appareils prévus pour cette extension d'une puissance totale de 2 080 000 frig/h sont représentés schématiquement à la figure 2. Ils mettent en œuvre un débit d'eau de 120 m³/h, refroidie à la surface et introduite dans le puits par une conduite calorifugée, sa température de départ étant de l'ordre de 1°C. L'eau jouant le rôle d'agent frigorifère, arrive au pied du puits, profond de 1 000 m à une pression voisine de 100 kg/cm². Afin de ne pas soumettre les conduites et les appareils installés dans les galeries à cette forte pression, et de tirer parti néanmoins de l'énergie hydraulique due à cette importante chute, le liquide est détendu dans une turbine Pelton T. De là, il est envoyé par les pompes de circulation C1 et C2 vers les échangeurs E2, E3, E4 et E5 montés à l'entrée des quatre tailles à refroidir. Compte tenu des pertes frigorifiques en ligne, la température de l'eau arrivant aux échangeurs atteindra environ 3,5°C. Elle se relèvera jusqu'à 14,5°C en refroidissant et en séchant l'air de ventilation entrant dans les chantiers d'abatage. L'eau en circulation revenant au pied du puits par des conduites non calorifugées sera reprise par la pompe P et renvoyée à la surface. Cette pompe sera actionnée par la turbine Pelton T, qui lui communiquera 65 % de la puissance qu'elle absorbe, et par un moteur fournissant la puissance d'appoint (35 %). En revenant à la surface, l'eau en circulation aura une température de 22,5°C. Elle sera alors refroidie de nouveau jusqu'à 1°C et recommencera le parcours.

La réfrigération de ce courant d'eau sera réalisée dans la centrale de production de froid. Celle-ci comportera d'abord un échangeur qui abaisse la température de l'eau du circuit à 17,9°C, grâce à un débit de 80 m³/h d'eau à 13°C, dont on a la bonne fortune de pouvoir disposer. Après ce pré-refroidissement, l'eau sera ramenée à 1°C par son passage sur les évaporateurs disposés en série de quatre étages de machine frigorifique F1, F2, F3 et F4, comportant des compresseurs à piston et fonctionnant à l'ammoniac. L'eau nécessaire à la condensation dans ces machines circule en circuit fermé et est maintenue, par un réfrigérant atmosphérique R, à une température suffisamment basse. Afin de limiter au minimum la puissance mécanique absorbée par les compresseurs, les différences de température d'évaporation et de condensation vont en croissant depuis la machine F1 jusqu'à celle F4. Tandis que, pour les

quatre cycles, la température de condensation de l'ammoniac est uniformément 29°C, les températures d'évaporation dans les machines F1, F2, F3 et F4, ont été fixées respectivement à 6,5°C, 3°C, 0,5°C et -1°C.

Quant à la machine frigorifique déjà existante, elle est représentée au schéma en F₀, et réalise le refroidissement de l'air de ventilation d'une taille par l'échangeur E1 relié à la machine F₀ par un circuit d'eau frigorifère, qui comporte encore la pompe C3. Anciennement, la condensation du fluide frigorifère, qui pour cette machine équipée d'un compresseur centrifuge, est le fréon 11 CFC13, était réalisée, comme on l'a décrit ci-avant, par un circuit indépendant d'eau reliant la machine à la surface. Le regroupement de l'ancienne installation avec la nouvelle permet de supprimer ce circuit en effectuant la condensation dans la machine F₀ par l'eau revenant des échangeurs E2, E3, E4 et E5; c'est ainsi que cette eau se réchauffe de 14,5°C à 19°C par des pertes le long des conduites et de 18°C à 21,5°C dans le condenseur de F₀. Il est à remarquer du reste qu'étant donné l'importance du débit d'eau en circulation (120 m³/h), on pourrait plus tard effectuer de la même façon la condensation d'une machine frigorifique F₀, capable de climatiser une sixième taille.

Les pertes frigorifiques de l'installation, inscrites sur le schéma, semblent à première vue très élevées. Il est à remarquer toutefois que ces pertes ont un effet frigorifique sur le courant d'air général de la mine et que, de ce fait, elles ne constituent pas une perte dans le bilan calorifique total du charbonnage. D'autre part, le pré-refroidissement en surface (de 650 000 frig/h) compense en partie ces pertes sans consommation énergétique. Le pré-refroidisseur pourrait au reste être agrandi ultérieurement au cas où l'installation serait complétée par la machine F₀, dont question ci-dessus.

L'idée de réfrigérer le courant de ventilation général d'un charbonnage se heurte à première vue à des objections importantes. Si ce refroidissement se fait en surface, il ne peut se justifier que pour des mines n'ayant qu'un seul étage en exploitation, les difficultés climatiques affectant donc la totalité des travaux. Comme l'installation doit être prévue pour traiter, surtout en été, tout le débit d'air de ventilation, sa puissance frigorifique sera élevée. Par ailleurs, si la réfrigération se fait uniquement en surface, les machines resteront inactives pendant une grande partie de l'hiver. Enfin, l'effet frigorifique risque d'être mal utilisé, une fraction importante du froid communiqué au courant d'air étant perdue dans le puits, surtout par l'effet de l'auto-compression et dans les galeries par l'exaspération des dégagements calorifiques des terrains.

Si l'on examine cette méthode de plus près, il semble pourtant que, judicieusement adaptée, elle puisse dans certaines conditions, donner des résultats intéressants. Tel était certainement le cas pour les Charbonnages du Rieu-du-Cœur et de la Boule réunis à Quaregnon. Tous les chantiers de ce charbonnage sont situés au même étage, à une profon-

deur de 1350 m, et tous sont à refroidir, alors que la mine est relativement sèche. D'autre part, l'expérience a montré que, par temps froid prolongé en hiver, le climat souterrain s'y améliore d'une façon appréciable.

L'installation de climatisation de ce charbonnage d'une puissance de 3 500 000 frig/h comporte dans son stade de réalisation complète quatre compresseurs à pistons C; ils aspirent l'ammoniac des évaporateurs où sa chaleur de vaporisation produit l'effet frigorifique utile et le refoulent vers des condensateurs du type à ruissellement, où l'ammoniac se liquéfie jusqu'à une température un peu supérieure à la température humide de l'air (fig. 3). Des condensateurs, l'ammoniac re-

se remélange à celle sortant de la batterie de surface et est à nouveau refroidie. Dans le fond de la mine, l'eau froide à 2°C obtenue à la sortie de l'échangeur grâce à l'action de la saumure est envoyée vers les chantiers à climatiser, où elle assure le refroidissement et le séchage de l'air à proximité du pied des tailles, dans des refroidisseurs analogues à ceux prévus au Charbonnage de Zwartberg.

Actuellement, le refroidissement de l'air se fait uniquement en surface, la partie souterraine de l'installation étant encore en montage. La totalité de la puissance installée est donc disponible pour ce refroidissement : on dispose pour alimenter la batterie de surface de saumure à environ 0°C et

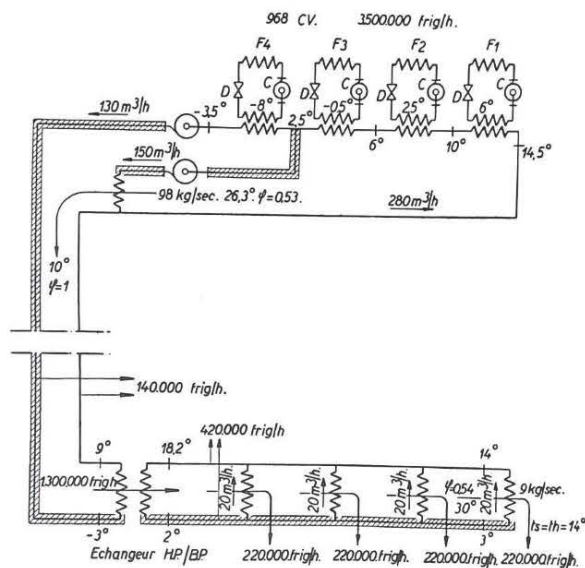


Fig. 5.

vient vers les évaporateurs et est ramenée à la pression correspondante par les vannes de détente D. L'agent de transport des frigorifiques est une saumure qui revient à la centrale de production du froid à une température de l'ordre de 14,5°C après avoir effectué son effet utile. Traversant les corps d'évaporation où l'ammoniac bout à des températures s'abaissant progressivement, cette saumure se refroidit jusqu'à 2,5°C, température à laquelle elle est déjà capable d'assurer le refroidissement de l'air dans la batterie de surface. Une partie du débit de saumure est cependant refroidie jusqu'à -3,5°C, grâce à la quatrième machine et envoyée vers les travaux souterrains à la profondeur de 1350 m, où elle atteint la pression de 135 atmosphères. La saumure traverse alors un échangeur de chaleur spécialement conçu pour résister à cette pression et revient au jour où elle

l'air pénètre dans les puits à la température de 2 à 3°C, après avoir été fortement asséché.

Plus récemment et en prévision du début de l'exploitation au delà de 1000 m, les Charbonnages André Dumont ont décidé de réaliser pour la climatisation de la première taille en exploitation à ce niveau une installation de réfrigération du même principe que la première installation de Zwartberg. Toutefois, le refroidissement du condenseur sera assuré par l'eau d'exhaure disponible en quantité suffisante à une température convenable. Cette installation ne comportera donc pas le circuit d'eau du condenseur représenté à la figure 1.

Comme le fonctionnement prolongé de la première machine du Charbonnage de Zwartberg a

démontré la possibilité technique de réaliser le refroidissement des chantiers souterrains, il semble que l'on puisse attendre avec optimisme les résultats des installations ultérieures et espérer la mise en valeur de certains gisements inaccessibles sans refroidissement.

M. le Directeur Houberechts présenta ensuite son collaborateur médecin le Professeur Lavenne chargé d'enseigner à l'Université de Louvain, la médecine du travail.

Les répercussions sur l'homme du travail aux hautes températures

par F. LAVENNE,

Chargé de Cours à l'Université de Louvain,
Médecin à l'Institut d'Hygiène des Mines à Hasselt.

La physiologie et la pathologie du travail aux températures élevées ont comme base notre homéothermie et la nécessité de perdre les calories représentant le métabolisme basal, ainsi que celles produites lors des contractions musculaires.

Physiologie du travail aux hautes températures.

L'étude de nos moyens naturels de défense contre l'hyperthermie permet de préciser l'importance relative des divers facteurs caractérisant le climat des atmosphères surchauffées. On a pu de même établir les limites de températures supportables au repos et à l'effort.

1. Moyens naturels de défense contre l'hyperthermie.

La vie humaine n'est possible que dans des limites étroites de température interne. L'homme n'a une impression de confort que lorsque sa température est comprise entre 36,5 et 37,5°C, la température de la peau étant alors d'environ 33°C. Or, même au repos complet, nous produisons continuellement environ 70 kcal/h, qui constituent le métabolisme de base. Les efforts physiques accroissent considérablement ces productions calorifiques. Ainsi un sujet assis, au repos, produit 100 kcal/h, une promenade à 5 km/h correspond à la production de 265 kcal/h, une course à 8,5 km/h à 572 kcal/h et une montée d'escaliers à 1000 kcal/h. Un des travaux continus les plus durs, le sciage du bois, amène le dégagement de 450 kcal/h.

Ces calories sont favorables à la thermorégulation dans les atmosphères froides, où nous perdons constamment de la chaleur par radiation, par conduction, par convection, ainsi que par évaporation d'eau au niveau des alvéoles pulmonaires. Mais le travail dans les milieux dont la température est voisine de la nôtre pose un problème d'évacuation des calories produites, qui sinon feraient dangereusement monter notre température interne.

Tant que la température ambiante est inférieure à celle de la peau (33°C), nous pouvons perdre des

Le travail en milieux chauds dans nos charbonnages n'a pas laissé indifférent le Dr Lavenne et, dans ces derniers mois, il s'est rendu dans un charbonnage du Hainaut dont les chantiers se trouvent à grande profondeur pour y étudier sur place le comportement non seulement des ouvriers y occupés, mais aussi celui des sauveteurs qui pourraient y être appelés en cas de sinistre.

C'est le résultat de ces études que le Professeur Lavenne exposa d'une façon très claire et très détaillée.

calories par radiation, conduction et convection. D'autre part, une dilatation des vaisseaux cutanés et une augmentation du débit cardiaque accélèrent encore les échanges entre le milieu intérieur et l'air ambiant. Il s'ensuit une augmentation de fréquence du cœur, ainsi que des remaniements dans le tonus des artérioles, destinés à maintenir la tension sanguine à un niveau normal. La défense contre l'hyperthermie entraîne donc une surcharge certaine du système circulatoire.

Dès que la température ambiante dépasse 33°C, loin de céder des calories au milieu ambiant, le corps humain en reçoit de supplémentaires par radiation, convection et conduction. L'évaporation d'eau constitue dès lors le seul moyen de lutte contre l'hyperthermie. Les 2 500 000 glandes sudoripares, qui sont situées immédiatement sous l'épiderme, sécrètent une solution aqueuse très diluée, contenant nombre de constituants du plasma sanguin et notamment du chlorure de sodium à une concentration de 0,1 à 0,2 %. L'évaporation d'un litre de sueur soustrait à l'organisme environ 580 kcal. Les travaux de Adolph sur la physiologie de l'homme dans le désert ont montré qu'une marche d'une heure à 5 km/h, à une température de 38°C, amène la sécrétion et l'évaporation d'un litre de sueur. La même marche à une température de 43°C s'accompagne d'une perte d'eau égale à 1,5 litre.

La perte de chaleur par évaporation n'est évidemment possible que dans une atmosphère non saturée en humidité, c'est-à-dire où l'humidité relative est inférieure à 100 %.

2. Importance au point de vue physiologique des diverses caractéristiques du climat.

Ce court rappel physiologique permet de comprendre pourquoi la température sèche (t_a) cesse d'être le facteur le plus important dès que la température ambiante approche celle du corps humain. C'est, dès lors, l'humidité de l'air qui joue le rôle prépondérant, parce que c'est d'elle uniquement que dépend la possibilité d'évacuer les calories produites. L'augmentation de la température sèche au delà de 33°C n'intervient plus qu'en