

UNIVERSITE DE DAKAR

ECOLE INTER-ETATS DES
SCIENCES ET MEDECINE VETERINAIRES

Année Universitaire 1979

N° 7

ASPECTS DE LA LUTTE CONTRE LA CHALEUR
CHEZ CERTAINS HOMÉOTHERMES EN AFRIQUE

THESE

présentée et soutenue publiquement le 30 juin 1979
devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar
(DIPLOME D'ETAT)

par

Komlan DJABAKOU
né le 23 avril 1946 à Lomé

Président du Jury : François DIENG
Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar

LISTE DU PERSONNEL ENSEIGNANT POUR L'ANNEE

UNIVERSITAIRE 1978-1979

I - PERSONNEL A PLEIN TEMPS

1 - PHARMACIE-TOXICOLOGIE

Louis PINAULT Professeur

2 - PHYSIQUE MEDICALE-CHIMIE BIOLOGIQUE

N.....

3 - ANATOMIE-HISTOLOGIE-EMBRYOLOGIE

N.....

Charles Kondi AGBA Professeur
Maître-assistant
Pascal LENORMAND V.S.N.
Soumana Abd. GOURO Moniteur
Germain SAWADOGO Moniteur

4 - PHYSIOLOGIE-PHARMACODYNAMIE-THERAPEUTIQUE

Alassane SERE Maître de Conférences

5 - PARASITOLOGIE-MALADIES PARASITAIRES-ZOOLOGIE

N.....

Pierre Maurice TRONCY Professeur
Assistant
Joseph VERCRUYSSSE Assistant
Armand François SENOU Moniteur

6 - HYGIENE ET INDUSTRIE DES DENREES D'ORIGINE ANIMALE

N.....		Professeur
Malang	SEYDI	Assistant
Jean O. A.de	BORGHRAVE	Assistant
Amen Yawo	HADZI	Moniteur

7 - MEDECINE ET ANATOMIE PATHOLOGIQUE

N.....

8 - REPRODUCTION ET CHIRURGIE

N.....		Professeur
Papa El Hassan	DIOP	Assistant
Yves	LOBJOY	V.S.N
Oumarou	DAWA	Moniteur

9 - MICROBIOLOGIE-PATHOLOGIE GENERALE MALADIES CONTAGIEUSES ET LEGISLATION SANITAIRE

Jean	CHANTAL	Professeur
Justin Ayayi	AKAKPO	Maître-assistant
Pierre	BORNAREL	Assistant de Recherches
Adébayo F.	ABIOLA	Moniteur

10 - ZOOTECHE-ALIMENTATION-DROIT-ECONOMIQUE

Ahmadou Lamine	NDIAYE	Professeur
Balaam	FACHO	Maître-Assistant
Régis	COUSINARD	Assistant

DROIT ET ECONOMIE RURALE

Mamadou NIANG : Chercheur à l'IFAN

ECONOMIE RURALE

Oumar BERTE : Assistant - Fac. des Sciences Juridiques et Economiques

III - PERSONNEL EN MISSION (Prévu pour 1978-1979)

ANATOMIE-HISTOLOGIE-EMBRYOLOGIE

Cl. PAVAUX Professeur TOULOUSE

ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Mlle Monique WYERS Maître de Conférences
E.N.V. ALFORT

PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

François ANDRE Professeur E.N.V.
ALFORT

CHIRURGIE

ANDRE Professeur E.N.V.
ALFORT

MEDECINE

J.L. POUCHELON Maître Assistant
Agrégé E.N.V. ALFORT

PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION-OBSTETRIQUE

J. FERNEY Professeur E.N.V.
TOULOUSE

JE DEDIE CETTE THESE...

A mon père

Tu nous as quitté très tôt.

Que l'amour paternel dont nous fûmes l'objet de ton vivant nous accompagne toujours dans la réalisation de nos promesses.

Que la terre te soit légère.

A ma mère et Butu Atali

En reconnaissance de tous les sacrifices qu'elles se sont imposées pour assurer mon avenir et celui de mes frères et soeurs qu'elles veuillent trouver dans ce travail le témoignage de toute mon affection.

A mes oncles

Pour tout ce que vous avez fait pour moi

Ma reconnaissance et mon affection.

A mes frères et soeurs

Notamment Samuel, Edouard, Pierre, Sophie, Anne

Pour tous les sacrifices courageusement consentis pour la réussite et le bonheur de notre famille.

A Mr. et Mme. ETCHRI de Thiès

Témoignage de notre affection et de notre reconnaissance.

A Afi Dovi

Tu nous a quitté très tôt.

Que ta gentillesse soit notre lumière éternelle.

Que la terre te soit légère.

.../...

A toute ma famille

Affection et reconnaissance

A Dick NOAMESHI

En souvenir de tous ces moments passés dans l'insouciance
combien heureuse de l'adolescence.

A Joseph AGBOLOSSOU

Que la terre te soit légère.

A Jean AUGIER

Tes hautes qualités morales et ton abnégation qui illu-
naient nos jours d'enfance, sont encore vivaces en nous
Que la terre te soit légère.

A Jacqueline DUCOMBIER née MOIZEAU

En gage de notre amitié.

A Docteur ADOMEFA Jean

Docteur Ibrahima DIALLO

Pour que s'éternisent les bonnes relations qui nous relient

A ma fiancée B.B.

Afin que nos liens tendent vers le plus grand amour.

A Mamadou T. DIA

Djibi KONE

.../...

Samba M'BAKE

Georges FAYE

Toutes mes reconnaissances

A tous mes amis

Amadou Bocar DIALLO

Doury SARR

Roger TAYOU

Christophe TAMEGNON

A toutes mes copines

Astou SAMB

Codou DIOP

Ndeye KEWE

Duly DIAWARA

Fatou

A Mme CISS

Mme DELGADO

Mme DIENE

Mme DIOP

Mme SANE

Pour l'aimable accueil que vous m'avez toujours réservé
et pour le soutien moral que vous m'avez apporté tout le
long de ce travail.

A tous ceux dont je n'ai pu citer les noms ici

.../...

A tous le personnel du service de physiologie

Au Togo

Mon pays

Au pays hôte le Sénégal

Pour son hospitalité

A Monsieur le Professeur François DIEN

Professeur à la Faculté mixte de Médecine et de Pharmacie
de DAKAR

Qui nous a fait le grand honneur d'accepter la présidence
de notre jury de thèse.

Soyez assuré que votre disponibilité permanente, votre
sourire et votre sensibilité humaine nous ont profon-
dément marqué

HOMMAGES RESPECTUEUX

A notre MAITRE le Professeur Alassane SERE

Professeur à l'E.I.S.M.V. de DAKAR

Vous nous avez fait le grand honneur de nous proposer
le sujet de cette thèse que vous avez su diriger par
vos conseils judicieux et par la grande bienveillance
que vous avez montrée à notre égard

(VEUILLEZ TROUVER ICI L'EXPRESSION DE NOTRE GRATITUDE
ET DE NOTRE PROFOND RESPECT.

A Monsieur le Professeur Ahmadou Lamine NDIAYE

Directeur de l'E.I.S.M.V. de DAKAR

Vous avez bien voulu participer à notre jury de thèse
malgré vos nombreuses obligations.

Votre sens de la rigueur, du travail bien fait et de
clarté resteront pour nous de précieux exemples

JE VOUS EXPRIME MA PROFONDE RECONNAISSANCE

.../...

A Monsieur le Professeur Ibra WANE

Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de
DAKAR

Qui a accepté avec enthousiasme de faire partie de notre
jury de thèse

HOMMAGES RESPECTUEUX

A tous mes MAITRES

MA RECONNAISSANCE

"Par délibération, la Faculté et l'Ecole ont arrêté que les opinions émises dans la dissertation qui lui seront présentées, doivent être considérés comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent donner aucune approbation ni improbation"

INTRODUCTION

Ce travail modeste sera consacré à la lutte contre le chaud et a pour titre : Aspects de la lutte contre la chaleur chez certains homéothermes en Afrique. Sujet dont l'importance n'a d'égal que le nombre et la qualité des travaux qui lui sont consacrés .

DASTRE écrit que "tout le branle bas de la vie s'intercale entre une combustion et un dégagement de chaleur". La chaleur animale est donc le témoin de l'activité vitale. Mais cette dernière régie par des réactions enzymatiques, ne donne son plein rendement que dans des limites très strictes de températures entre lesquelles les processus métaboliques conservent leur pleine activité. Ainsi le comportement du monde animal apparaît étroitement lié à la température du milieu dans lequel se déroule le métabolisme biologique, elle-même tributaire de la température du milieu extérieur.

Cette notion permet de limiter deux catégories d'espèces :

- Les poikilothermes ou animaux à sang froid (reptiles et batraciens)
- Les homéothermes ou animaux à sang chaud (oiseaux mammifères)

Chez les poikilothermes, la température de la masse protoplasmique active n'est que légèrement supérieure à la température ambiante mais surtout elle est variable et suit les variations de la température ambiante.

Chez les autres la température interne est relativement stable en dépit des variations de la température ambiante. Cette stabilité permet dans les conditions sévères de température ambiante de maintenir ou de prolonger les activités métaboliques des organes vitaux tels le cerveau et le coeur.

Lorsqu'on soumet ces deux groupes d'animaux à une baisse brutale de la température extérieure l'homéotherme augmente son métabolisme d'une manière active pour maintenir sa température centrale alors que chez les poikilothermes le métabolisme baisse passivement.

Cette distinction valable dans ces grandes lignes, autorise quelques remarques. Chez les reptiles où la température corporelle varie directement avec celle du milieu ambiant, on constate que cette variation n'est pas exclusivement passive. Ils peuvent modifier leur température interne par différents comportements aux fins d'adaptation aux importantes variations du milieu. Lorsqu'ils ont le choix entre plusieurs températures ambiantes, ils préfèrent vivre dans l'ambiance qui leur convient le mieux. VIAUD appelle cette température par le terme de "Thermopréférence".

Certains animaux à sang froid tels les lézards, les varans, peuvent maintenir leur température interne au dessus de celle de l'air. Cette thermoregulation permet de substituer à l'appellation poïkilotherme celle d'ectotherme en distinguant les formes qui élèvent leur température soit par absorption des radiations solaires, les héliothermes, soit par conduction du substrat ; les thigmothermes. Ces mécanismes ne s'excluent pas et peuvent devenir complémentaires pour les reptiles qui utilisent au maximum l'ensemble des ressources caloriques de leur biotope.

De l'autre côté, existent les mammifères hibernants (marmotte, loir) homéothermes pendant la belle saison qui est celle de la vie active, ils tombent en état de vie ralentie et se refroidissent en automne.

Toutefois chez ces derniers, le réveil survient dès que la chute de température menace l'intégrité fonctionnelle de l'organisme.

La différence entre poïkilotherme et homéotherme réside dans la tendance de l'homéotherme à protéger le capital calorique. Ce capital a tendance à s'accroître par production de chaleur ou thermogénèse et à diminuer par l'excrétion de chaleur ou thermolyse. La protection du capital calorique est apportée par l'ajustement de ces deux processus, par l'intervention d'une régulation, d'une homéostasie thermique très complexe qui est mise en jeu lorsque l'organisme lutte contre le froid (prédominance de la thermogénèse) ou contre le chaud (prédominance des mécanismes de thermolyse).

Le sujet est consacré uniquement à ce deuxième aspect de l'homéothermie.

Cette restriction à la lutte contre la chaleur ^{se} justifie amplement le choix de ce sujet, vu la position géographique de la majorité des pays africains en zone chaude tropicale et équatoriale.

Notre sujet est subdivisé en quatre parties.

Dans un premier temps nous étudierons les caractères généraux de l'homéothermie. Cela nous permettra de dégager les différents facteurs des homéothermes avant de les aborder du point de vue théorique.

Dans notre deuxième partie nous évoquerons les mécanismes dont disposent les homéothermes pour lutter contre le chaud.

Notre troisième partie découlant logiquement des deux premières, traitera la régulation de ces mécanismes.

Notre dernière partie traitant de l'adaptation, après un bref aperçu sur la répartition du cheptel bovin, ovin, caprin et camelin en Afrique Occidentale, nous envisagerons les caractères adaptatifs de la résistance à la chaleur chez certains animaux.

PREMIERE PARTIE

CARACTERES GENERAUX DE L'HOMÉOTHERMIE

L'homéothermie est définie par la relative fixité de la température centrale. Aussi est-il indispensable d'aborder ce chapitre des caractères généraux de l'homéothermie par l'examen de la température de quelques animaux domestiques et ses variations dans les conditions physiologiques.

Cette fixité, cet équilibre est maintenu par le jeu des facteurs, et ces facteurs de l'équilibre seront analysés dans la deuxième partie de ce chapitre.

Chapitre I

LA TEMPERATURE DE L'HOMÉOTHERME :

Elle est constante chez tous les homéothermes maintenus dans des conditions d'alimentation et d'abreuvement normales.

A - QUELQUES TEMPERATURES MOYENNES :

Homme.....	37°C
Etalon.....	37,6°C (37)
Jument.....	37,8°C (37)
Ane.....	37,4°C (10)
Chameau.....	37,5°C (10)
Zébu.....	38,6°C
Vache laitière.....	38,6°C (49)
Mouton.....	39,1°C (24)
Chèvre.....	39,1°C (3)
Porc.....	39,2°C (84)
Chien.....	38,9°C (38)
Chat.....	38,6°C (50)
Rat.....	39,5°C (40)
Poulet.....	41,7°C (39)

Ces chiffres appellent quelques commentaires. D'une manière générale, la température
.../....

de
du corps est d'autant plus basse que l'animal est grande de taille. En effet, la moyenne se situe aux alentours de 36,5 - 37,5°C pour les ^{GROS}mammifères domestiques

. Un écart de quelques degrés sépare ce premier groupe d'animaux des mammifères de taille plus réduite. Ceci tient au métabolisme et à l'activité plus grande chez les petites espèces. Par exemple, les oiseaux qui ont le métabolisme le plus important ont des températures corporelles élevées.

Cette fixité de la température corporelle autorise néanmoins des oscillations normales physiologiques dans certaines limites qui seront examinées.

B - VARIATIONS PHYSIOLOGIQUES :

1) Nycthémerale :

L'enregistrement radiotéléométrique de la température centrale du mouton durant le parcours du pâturage a montré des variations journalières d'environ 1°C. (41).

Chez les bovins la température centrale est régulièrement plus élevée le soir que le matin avec une différence de 0,5 à 1°C. (16). Chez l'homme également le minimum se situe le matin vers 6 heures, le maximum le soir vers 18 heures. Ces variations sont liées à l'alternance du jour et de la nuit à l'activité plus élevée dans la journée. C'est ainsi qu'on constate que les rapaces et les carnassiers qui ont une activité nocturne voient ces variations survenir en sens opposé avec un maximum le matin et un minimum le soir. Outre l'activité générale de l'individu, la prise de nourriture intervient également.

2) Prise de nourriture : A.D.S.

Les dépenses de l'acte alimentaire, l'excitation musculaire provoquée par la prise de nourriture, l'assimilation métabolique des aliments produisent de la chaleur contribuant à une élévation de la température. Ceci est connu sous le nom d'A.D.S. (Action Dynamique, Spécifique). Rubner a montré chez le chien que

.../...

cette A.D.S. est plus forte avec les protéines, puis viennent les lipides et les glucides. (103)

Chez les ruminants elle est plus élevée pour l'acide acétique que pour les autres acides gras volatils. (103).

3) Sexe :

Le sexe joue également un rôle dans ces variations physiologiques de la température corporelle. D'une façon générale, les femelles ont une température centrale plus élevée que les mâles. Chez la femme juste après l'ovulation on note une légère augmentation thermique (0,3 - 0,5°C). Ceci est dû au taux de progestérone plasmique pendant la phase post-ovulatoire du cycle (formation du corps jaune progestatif). (21) Cette élévation pré ou post-ovulatoire de la température s'observe chez les animaux domestiques plus particulièrement chez la jument mais de façon inconstante ; ce qui rend son exploitation éventuelle en reproduction plus aléatoire.

4) Travail musculaire :

Il est de constation générale que le travail musculaire élève la température centrale. Cette hyperthermie est transitoire et le retour à une température normale est acquis dans l'heure qui suit la cessation de l'exercice.

5) Age :

Elle est plus élevée chez les jeunes que chez les adultes. Les variations nycthémérales sont ici plus accusées.

+

+

+

.../...

La température centrale de l'homéotherme se maintient malgré ces variations minimales, le plus souvent transitoire dans d'étroites limites. Cette fixité de la température est le résultat d'un équilibre entre d'une part la production de chaleur ou thermogénèse, d'autre part les pertes de chaleur ou thermolyse, constituant les facteurs de l'équilibre thermique que nous allons examiner.

Chapitre II

LES FACTEURS DE L'EQUILIBRE THERMIQUE :

L'équation de la thermorégulation s'écrit classiquement de la façon suivante :

$$\boxed{\text{PRODUCTION DE CHALEUR} = \text{PERTE DE CHALEUR}}$$

ou thermogénèse ou thermolyse

Ce qui conduit à examiner successivement la production puis les pertes de chaleur.

A - PRODUCTION DE CHALEUR

La chaleur est un produit du métabolisme. Lorsqu'on étudie la thermogénèse d'un animal en fonction de la température extérieure, on constate que cette production de chaleur passe par un minimum dans une zone de température variable selon les espèces. Cette zone est appelée zone de neutralité thermique. Cette calorification minimale correspond au métabolisme de base. Dans cette zone il n'y a pas de dépense de la thermorégulation. Les animaux éprouvent alors une sensation de bien-être quand ils se trouvent dans cette ambiance ou légèrement en dessous.

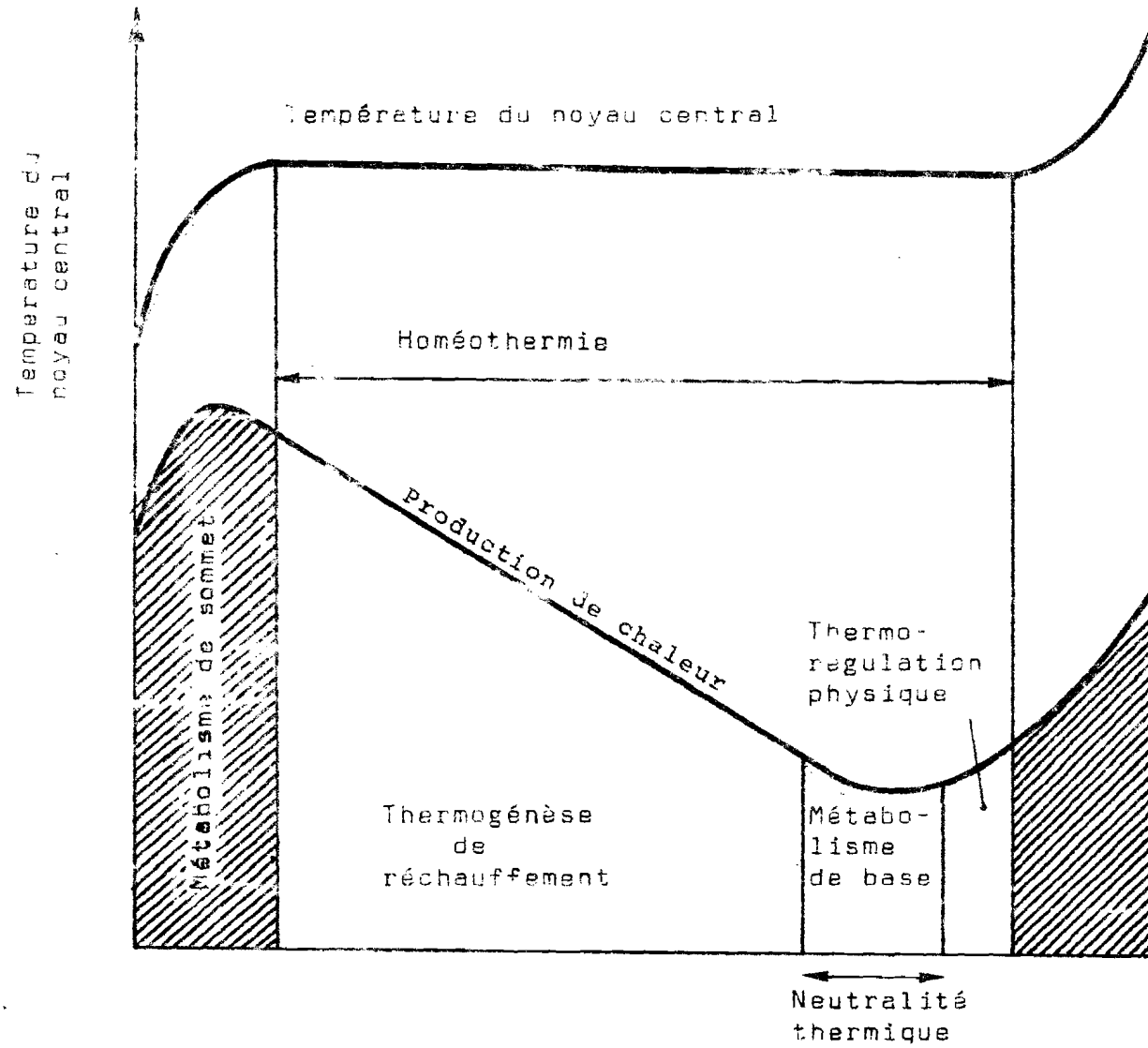
La zone de neutralité varie selon les animaux. (56)

Homme légèrement vêtu.....24°C

" chaudement vêtu.....14°C

.../...

Schema n°1 : Spectre thermogénèse



Chèvre.....	20 -28°C
Mouton.....	13 -14°C
Boeuf.....	14 -18°C
Porc.....	21°C

ECOLE INTER ETATS
DE
VI
12

Une remarque s'impose à l'examen de ces chiffres. La zone de neutralité thermique est plus basse chez les bovins et les moutons alors qu'elle est plus élevée chez les chèvres. Ceci permet de dire que les bovins et ovins se "sentent à l'aise" dans le froid alors que les chèvres préfèrent une ambiance plus chaude. Les premiers seront mieux adaptés au froid, alors que les seconds seront mieux armés contre le chaud. La chaleur étant un produit de déchet de l'organisme, toute augmentation du métabolisme, exercice musculaire, dépense de l'acte alimentaire augmente du même coup sa production. Cette chaleur si elle est produite en zone froide s'intègre dans le processus de régulation thermique. C'est la raison pour laquelle les possibilités de lutte contre le froid sont considérables. Le maximum de la puissance thermogénétique que GIAJA désigne sous le terme de "métabolisme de sommet" se situe chez les petits mammifères comme le rat à une valeur 6 fois supérieure à celle du métabolisme de base. (103) (voir spectre thermogénèse).

En zone chaude il se produit également une augmentation de la production de chaleur qui s'ajoute du reste à la chaleur reçue de l'ambiance ; cet excès de chaleur doit être éliminé faute de quoi l'individu s'échaufferait dangereusement.

Cette déperdition de chaleur se fait par les mécanismes de la thermolyse qui seront abordés maintenant.

B - PERTES DE CHALEUR

Elles représentent les mécanismes physiques de lutte contre le chaud et comprennent une thermolyse directe et une thermolyse indirecte.

.../...

1) La thermolyse directe :

Cette modalité de déperdition est ainsi appelée parce qu'elle peut être perçue et mesurée directement au calorimètre.

Elle est encore appelée chaleur sensible. Les mécanismes de thermolyse directe comprennent : les pertes par conduction, convection et rayonnement.

a) Les pertes par conduction

Elles représentent le réchauffement des molécules du milieu ambiant par leur contact direct avec la surface chaude du corps. Cette modalité est de peu d'importance si elle se produit à l'air qui est un mauvais conducteur de chaleur. Par contre elle devient efficace si le corps chaud repose sur un objet froid (le sol par exemple)

b) Pertes par convection :

Sont très efficaces. Elles procèdent du renouvellement des molécules du milieu ambiant qui se sont échauffées au contact de la peau. C'est ce qu'on appelle communément le "courant d'air".

Son efficacité dépend de la vitesse de l'air, de la taille de la surface sur laquelle elles agissent et de la forme de cette surface.

c) Pertes par rayonnement :

C'est la transmission de la chaleur à travers le milieu ambiant par les ondes électromagnétiques, surtout dans l'infrarouge. Le corps peut ainsi émettre de la chaleur ou en recevoir à travers l'air, quelque soit la température de ce dernier. Ainsi l'exposition aux fortes insulations échauffent l'organisme.

.../...

Cette déperdition dépend du pouvoir émissif de la surface, il est maximum et égale à l'unité pour le corps "noir parfait". Il est nul pour les corps qui réfléchissent tous les rayonnements (argent poli). Le revêtement cutané des animaux en général et ceci sans distinction du pelage se comporte comme un corps noir parfait avec un pouvoir émissif voisin de l'unité. Selon BLAXTER.(15)

Animal	Couleur du pelage	pouvoir émissif
Caribou	brun	1
Caribou	blanc	0,99
Berger Allemand	gris clair	0,99

Notons que la peau du sujet de race blanche et celle du noir se comporte toutes les deux dans le spectre infra-rouge à la manière du corps noir avec une approximation de 10 % (44)

Cette déperdition peut être compensée par la réception d'un rayonnement de même type en provenance d'une source extra-corporelle : un radiateur pour les pays froids et dans le cas qui nous intéresse, par le soleil.

Le pouvoir d'absorption du revêtement cutané, à l'inverse du pouvoir émissif est fonction de la couleur de la peau. Ce dernier facteur va jouer dans la protection contre l'insolation chez les sujets adaptés.

Peau humaine	
Eurasien.....	0,65
Nègre.....	0,82
Toison de mouton gris.....	0,60
Pelage de boeuf brun.....	0,70

Dans les conditions atmosphériques habituelles les pertes par rayonnement sont la résultante des rayonnements éliminés c'est-à-dire, émis par le corps d'une part et ceux qui sont reçus par l'organisme d'autre part.

Ces pertes se produisent inexorablement que le sujet soit dans une ambiance chaude ou froide. Nous allons voir que le sujet peut recevoir des rayonnements quand l'insolation est forte et ces rayonnements peuvent contribuer à une élévation de la température corporelle du sujet, il n'en va pas de même pour la thermolyse indirecte.

2) Thermolyse indirecte :

Elle utilise essentiellement l'eau pour dissiper la chaleur. L'évaporation d'un litre d'eau à la température ordinaire absorbe 580 kcal : c'est la chaleur de vaporisation ou chaleur latente.

Elle reconnaît deux modalités :

- Les pertes par évaporation cutanée
- Les pertes par évaporation pulmonaire

a) Les pertes par évaporation cutanée

Elles comprennent un élément constant : la perspiration insensible et un élément variable la sudation.

a- 1 La perspiration insensible

Elle résulte de la diffusion d'eau au travers du tégument et non d'une sécrétion de glandes sudoripares, de sorte qu'elle se produit chez toutes les espèces qu'elles transpirent ou non. Cette perspiration insensible relève de deux mécanismes. Le premier est représenté par une sécrétion sudorale très faible, les gouttellettes de sueur étant si petites et subissent une évaporation si rapide que l'examen du tégument à l'oeil nu ne permet pas de les déceler. Elles deviennent visibles lorsque le tégument est examiné à la loupe et surtout lorsqu'il a été saupoudré d'un colorant convenablement choisi. (60,87)

.../...

Comme toutes les autres formes de sécrétion sudorale, cette perspiration d'origine dermique peut être inhibée par l'administration d'atropine. Dans les conditions expérimentales, la perspiration insensible n'est pas diminuée, la perte d'eau à travers le tégument persiste en grande partie grâce à un deuxième mécanisme désigné sous le nom de perte d'eau transépidermique ou vraie perspiration insensible. (22)

Le mécanisme de la perte d'eau transépidermique indépendant de l'activité continue et insensible des glandes sudoripares n'est pas connu.

Les parts respectives de la perspiration dermique et de la perspiration transépidermique dans la perte totale d'eau sont très variables suivant les individus et même suivant les régions du tégument chez un sujet donné. On estime à 500 à 700g/24 heures la quantité d'eau qui traverse le tégument d'un homme adulte au repos. (44)

Cette quantité diminuerait avec l'âge et l'existence d'une différence sexuelle a été affirmée par certains auteurs (59,64). Il existe une relation linéaire entre cette perte d'eau et le métabolisme basal. (59,64)

a - 2 La sudation :

Elle dépend de l'activité des glandes sudoripares.

L'élévation de la température centrale, l'activité musculaire favorise l'élimination de la sueur. La quantité de sueur augmente avec la température ambiante et aussi avec l'humidité atmosphérique.

b) Les pertes par évaporation pulmonaire :

Il existe dans cette forme de dissipation calorifique un élément constant qui est constitué par la quantité d'eau nécessaire pour saturer l'air alvéolaire et qui est au poumon ce que la perspiration insensible est à la peau ; et un élément va-

riable représenté par la polypnée thermique : c'est l'augmentation de la fréquence respiratoire sous l'influence de la chaleur.

Elle reste le seul mode de dissipation de chaleur chez les animaux qui transpirent peu ou pas.

Chez le chien, elle est déclenchée dès que la température centrale atteint 41°C. L'animal maintient la langue à l'extérieur de la gueule qui est béante, augmentant ainsi la surface d'évaporation. En même temps la salivation devient abondante. La fréquence respiratoire passe de 15-25/mn à 150 -300/mn. Le mouvement de l'air dans les poumons ne varie pas par conséquent les échanges gazeux pulmonaires restent constants, car le siège de la polypnée se trouve dans les voies respiratoires supérieures (oropharynx, larynx). Magne parle de la sudation trachéale.

Son efficacité dans la thermorégulation est aussi bonne que la sudation, mais son coût énergétique est très élevé.

+ +

Il ressort de cette étude des facteurs d'équilibre thermique qu'il existe d'une part une production de chaleur due au métabolisme et aux organes à l'intérieur de l'organisme, d'autre part les pertes de chaleur ; ces pertes de chaleur, résultat de la thermolyse directe aussi bien que de l'évaporation d'eau par la thermolyse, se réalisent au niveau de la peau ; ceci entraîne comme conséquence, l'existence des zones chaudes et des zones moins chaudes, ces dernières se situant naturellement au niveau des surfaces de déperdition . Ce fait conduit à envisager la notion d'"enveloppe" et de "noyau".

.../...

Chapitre III

NOTION D'ENVELOPPE ET DE NOYAU :

A - SURFACE DE DEPERDITION : NOTION D'ENVELOPPE

La déperdition calorique se réalise au niveau des surfaces en contact avec le milieu extérieur. C'est-à-dire, les voies aériennes (fosses nasales, pharynx, trachée, bronches et alvéoles pulmonaires) et la peau, tout au moins les zones cutanées qui ne sont pas protégées ^{par} le pelage, le plumage ou des vêtements. D'une manière générale, le sang qui joue le rôle d'un transporteur de chaleur, en repart moins chaud qu'il ne l'était à l'arrivée et ses surfaces d'échange se refroidissent.

Il résulte de ces considérations que la température corporelle n'est pas la même en tous les points et il existe une topographie thermique. Chez une génisse des relevés topographiques de la température ont donné des valeurs suivantes. (15)

Températures ambiantes.....	35°C.....	20°C.....	5°C
pieds.....	36,5°C.....	29°C.....	10°C
oreilles.....	38,5°C.....	27,5°C.....	7°C

Par grand froid, il est courant d'observer les gelures des extrémités exposées, dues à la vasoconstriction diminuant l'apport sanguin aux extrémités. Cette topographie permet de distinguer les points chauds et des points plus ou moins froids.

Ces derniers se trouvent au niveau des surfaces par lesquelles se fait l'écoulement de la chaleur provenant du métabolisme. Le rôle essentiel est joué par la peau. L'ensemble constitue l'enveloppe dont la température est variable.

B - LE NOYAU CENTRAL :

A l'opposé, sont les organes profonds protégés par l'enveloppe. Ils cons-

tituent le noyau central dont la température est fixe. L'homéothermie est donc le propre des organes profonds et non de l'enveloppe et c'est sur les éléments anatomiques du noyau central que porte la régulation thermique chez les mammifères et les oiseaux. En effet au niveau du noyau central, les organes qui ont le métabolisme oxydatif le plus élevé ont une forte température. Ainsi le foie est l'organe le plus chaud avec environ un degré au-dessus de la température rectale. (10)

C'est pourquoi toute étude de la température corporelle ou de ses variations ne sera valable que si les mesures ont été faites au niveau du noyau central. Ceci pose le problème du lieu de la prise de la température en clinique qui donne un reflet de la température du noyau central.

La température buccale, axillaire, utilisées chez l'homme ne sont qu'une approche imparfaite de la température centrale ; la température rectale longtemps utilisée est considérée de nos jours comme un mauvais témoin de la mise en jeu des processus de régulation thermique. Aussi préconise-t-on la mesure de la température tympanique en physiologie comme étant celle de la température encéphalique et spécialement celle des centres nerveux thermorégulateurs. Chez les animaux cette température centrale est mesurée avec précision par des thermocouples enfoncés dans les masses musculaires (les enfoncés par exemple).

L'exemple suivant permet d'objectiver cette conception. Un homme reste 80 minutes dans un bain de 18°C, il est ensuite placé dans une pièce de 40°C. A la sortie du bain les températures sont les suivantes :

- Température rectale : 36,5°C : température pratiquement normale.
- Température tympanique : 35,5°C température basse alarmante.

On constate ensuite le sujet étant dans la pièce à 40°C.

.../...

- Une remontée rapide de la température tympanique ce qui démontre l'efficacité des processus de réchauffement.

- Au contraire une baisse de la température rectale ; ce qui indiquerait une insuffisance des processus de réchauffement.

L'explication serait la suivante : le chaud entraîne en effet une vasodilatation périphérique d'où passage d'une quantité importante de sang froid des régions cutanées refroidies, même en région profonde vers la région pelvienne qui était mieux protégée. (12)

Tous ces facteurs de l'équilibre thermique ont été mis théoriquement en équation. Ce traitement théorique a le mérite de mettre en lumière un certain nombre de principes généraux qui seront mis en oeuvre pour renforcer les mécanismes ^{de} lutte contre le chaud. C'est par ce traitement théorique que nous allons terminer ce chapitre consacré aux caractères généraux de l'homéothermie.

Chapitre IV

TRAITEMENT THEORIQUE :

Comme il ressort de l'étude précédente, la chaleur est le produit du métabolisme des zones profondes de l'organisme (noyau central) cette chaleur produit de déchet ou de "sous-produit" doit être éliminée au niveau des surfaces de l'enveloppe ; pour ce faire cette chaleur doit être transférée du noyau central vers la périphérie pour être excrétée.

A - TRANSFERT DE CALORIES :

.../...

La chaleur produite par la masse centrale du corps à température T_B passe à travers une barrière de tissu à la surface de la peau.

Les températures du corps, de l'air, de la surface de la peau de la toison peuvent être mesurées ; et si la quantité de chaleur produite est connue ou mesurée on peut établir l'équation suivante, qui représente le transfert de calories du noyau vers l'enveloppe.

$$Q_M = A_B \times C_T (T_B - T_S)$$

La chaleur produit du métabolisme Q_M coule du noyau central vers la surface de la peau. La quantité de chaleur passant du noyau à la surface du corps A_B est proportionnelle à cette surface et au gradient de température entre le noyau (T_B) et la surface (T_S). C_T est une constante qui mesure la conductibilité thermique des tissus. Cette conductibilité thermique est faible avec le tissu adipeux, un peu plus élevé avec la peau, elle augmente davantage avec les muscles.

Le tissu adipeux isole le noyau central de la périphérie, gênant de ce fait l'excrétion de chaleur. Ce phénomène s'il est utile dans la lutte contre le froid devient nuisible dans la lutte contre le chaud. En effet le tissu adipeux est un isolant, moins parce que sa conductibilité thermique est faible, que parce qu'elle est irriguée. La circulation sanguine joue un rôle de premier plan comme transporteur de calories des zones profondes (noyau central) vers la périphérie (enveloppe) et ce transport est susceptible de varier dans de larges limites selon le degré d'irrigation des tissus. Toutes ces données anatomiques se retrouveront dans les mécanismes de lutte contre la chaleur.

.../...

B - EXCRETION DE LA CHALEUR DANS LE MILIEU AMBIANT :

Cette excrétion se fait par le processus de la thermolyse directe et indirecte.

En ce qui concerne la thermolyse directe on peut écrire :

$$Q_S = A_B \times C_A (T_S - T_A)$$

A_B = surface du corps

C_A = conductibilité thermique de l'air à la surface du corps.

$T_S - T_A$ = gradient de température entre la surface cutanée (T_S) et l'ambiance (T_A)

Pour la thermolyse indirecte la chaleur de vaporisation est :

$$Q_V = A_B \times D (P_S - P_A)$$

P_A = pression de vapeur d'eau dans l'air

P_S = pression de vapeur d'eau à la surface du corps

D = constante de diffusion de la vapeur d'eau.

Ces équations permettent de tirer un certain nombre de faits :

1) Perte de chaleur et surface du corps

La perte de chaleur est proportionnelle à la surface du corps.
Dans une ambiance chaude cette perte augmente avec la surface du corps.

.../...

2) - Perte de chaleur et conductibilité thermique de l'air à la surface du corps.

Dans la première équation la perte de chaleur Q_S est fonction de la conductibilité thermique ^{de} l'air à la surface du corps. On comprend que l'interposition d'une couche isolante (fourrure, pelage, plumage) puisse gêner voire réduire cette perte de chaleur.

3) - Rôle du gradient de température

Plus le gradient de température ($T_S - T_A$) est élevé, plus élevées sont les pertes. Lorsque le gradient de température baisse lors de l'augmentation de la température ambiante par exemple, cette déperdition se trouve réduite. Elle est nulle lorsque les deux températures sont égales. Elle peut même s'inverser lorsque la température ambiante est supérieure à celle du corps. Dans ce cas il n'y a plus de perte de chaleur mais un véritable gain de chaleur pour l'organisme.

4) - Chaleur de vaporisation

En ce qui concerne la chaleur de vaporisation Q_V , le gradient des pressions de Vapeur ($P_S - P_A$) est fonction de la température et ^{de} l'humidité de l'air. Si la pression de vapeur d'eau de l'air (P_A) est supérieure à celle de la surface (P_S) il n'y a plus de vaporisation mais l'eau ruisselle à la surface du corps. On comprend que si l'atmosphère est saturée en vapeur d'eau l'efficacité de la sudation diminue fortement

Toutes ces notions posées par les équations théoriques se retrouveront aussi bien dans les mécanismes ^{de} lutte contre la chaleur que dans les adaptations ; ce qui conduit à envisager les mécanismes de lutte contre la chaleur.

DEUXIEME PARTIE

MECANISMES DE LA THERMOREGULATION DANS LE CHAUD .

L'homéotherme lutte contre la chaleur dans deux circonstances :

- lorsque la température ambiante dépasse la température de la neutralité thermique,
- lors de la production excessive de chaleur dépassant les possibilités d'utilisation de cette chaleur pour le maintien de la température centrale (exercice musculaire, l'utilisation métabolique des aliments par exemple).

Quoiqu'il en soit, si l'on se réfère à l'équation fondamentale, un tel individu placé dans l'une de ces deux circonstances a le choix théorique entre deux possibilités :

- soit augmenter ses pertes de chaleur.

La première modalité existe. Elle a été longtemps admise, puis controversée. On en reparle de plus en plus ces dernières années. Ce cas est surtout intéressant à considérer chez les animaux adaptés à la chaleur.

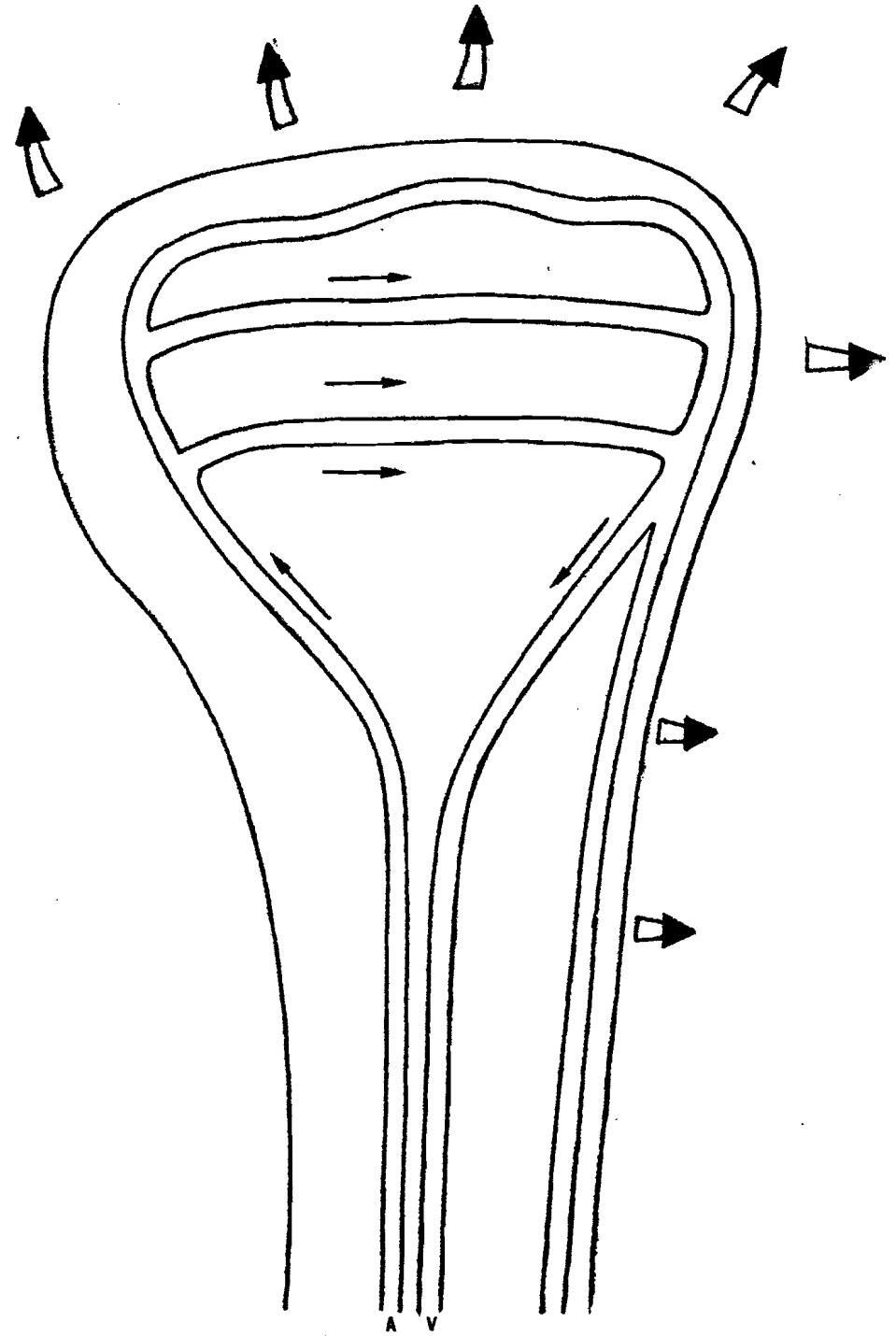
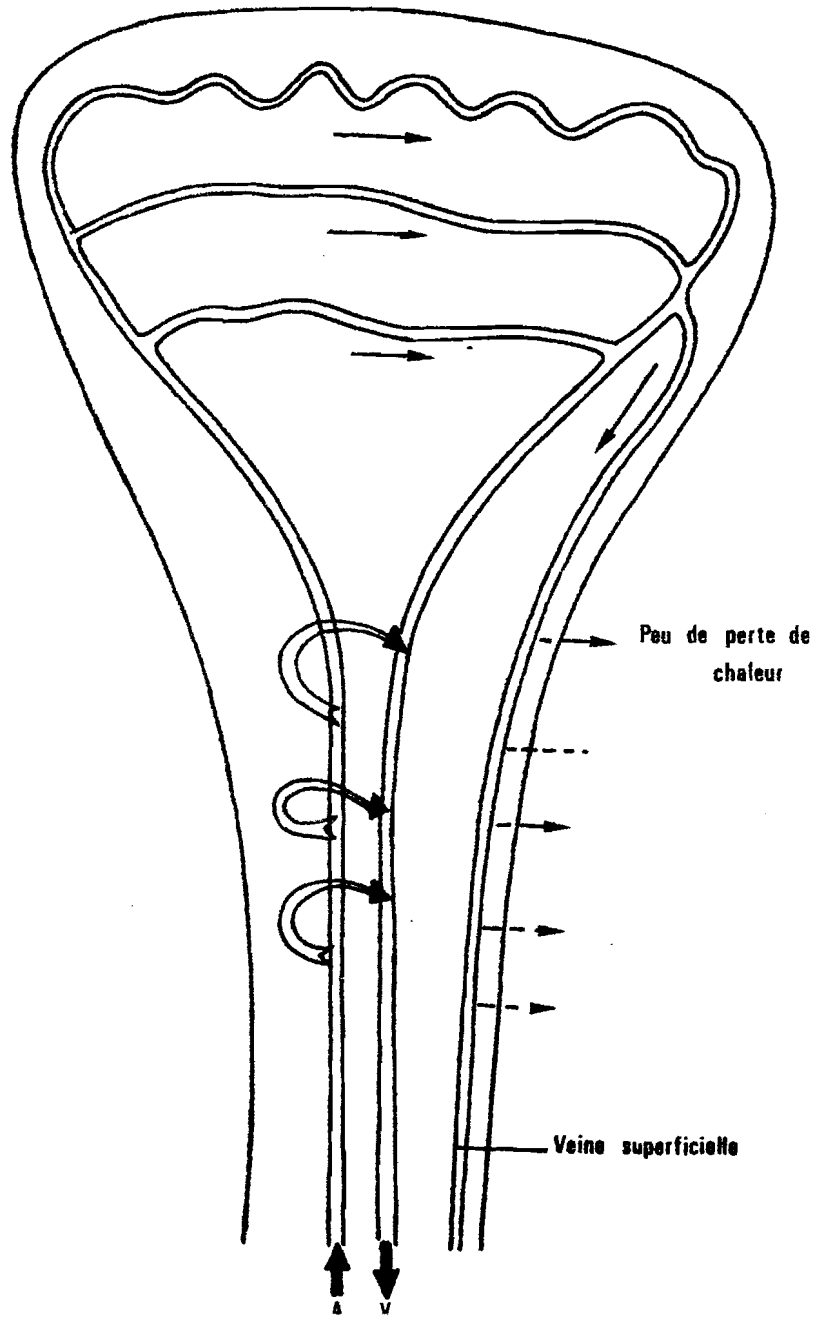
+

+ +

Plus importantes sont les pertes de chaleur par thermolyse et quand on parle de mécanismes de la thermorégulation dans le chaud on entend essentiellement les mécanismes de thermolyse.

Seront donc successivement abordés les mécanismes de thermolyse directe et les mécanismes de thermolyse indirecte.

Schéma n°2



Perte importante de chaleur

Chapitre I . MECANISMES DE THERMOLYSE DIRECTE :

La thermolyse directe se fait par des pertes de chaleur par conduction, rayonnement et convection. Ces pertes par thermolyse directe ne nécessitent aucune dépense d'énergie. Elles sont les seules à intervenir dans la zone de neutralité thermique et appelées pour cela pertes caloriques basales, elles se produisent donc inéluctablement. Du fait qu'elles ne dépensent pas d'énergie, elles seront donc théoriquement intéressantes à mettre en oeuvre ; malheureusement, l'observation courante aussi bien que l'équation théorique montrent les limites de ces mécanismes notamment lorsque la température ambiante s'élève réduisant le gradient thermique et du même coup ces pertes par thermolyse directe.

L'organisme animal dispose en fait de certaines possibilités pour augmenter ces pertes : les unes sont constitutionnelles (essentiellement les modifications circulatoires), les autres comportementales.

A.- MODIFICATIONS CIRCULATOIRES :

La conductibilité thermique s'effectue essentiellement par le sang. L'augmentation de cette conductibilité correspond à des modifications vasculaires qui accroissent l'apport des calories au niveau des surfaces de déperdition, augmentant ainsi l'émissivité de la peau. La peau des extrémités et des appendices normalement découverts constitue une importante surface d'échange et grâce à la présence d'anastomoses artério-veineuses abondantes se prête pratiquement bien aux variations d'irrigation. Claude Bernard avait remarqué la disposition anatomique particulière des artères profondes

des extrémités flanquées de deux veines satellites ou d'un plexus. Un tel dispositif est particulièrement favorable à des échanges à contre-courant entre le sang chaud de l'artère et celui des veines plus froid, parce que provenant de la périphérie et de la surface du corps. Cet échange thermique par contre-courant est plus important dans le froid, ce faisant, le sang artériel se refroidit au fur et à mesure qu'il progresse vers la périphérie (précooling des anglosaxons) alors que le sang veineux lui se réchauffe au fur et à mesure qu'il conduit le sang vers le noyau. (voir le schéma n° 2) Cet échange de calories aboutit en fait à sacrifier l'enveloppe, les extrémités. Il est donc le résultat des dispositifs constitutionnels, anatomiques et joue davantage dans le milieu froid, d'autant qu'un dispositif physiologique, la vasomotricité cutanée, vient renforcer les échanges par contre-courant. En effet, lors de l'exposition au froid les vaisseaux superficiels voient leur calibre réduit par le jeu de la motricité et ce phénomène en réduisant la circulation périphérique dérive le sang de la surface du corps et des extrémités vers les vaisseaux profonds (schéma n° 2). Ainsi par le jeu des échanges par contre-courant, par le jeu de la vasomotricité, le noyau se trouve circonscrit dans la profondeur de l'organisme et occupe de ce fait son plus faible volume. (schéma n° 3). Les enveloppes se trouvent ainsi sacrifiées du point de vue homéothermie. Les pertes caloriques sont ainsi réduites du fait d'une réduction du gradient thermique (équation de la thermolyse) qui serait en fait trop important lors de l'exposition au milieu froid, s'il n'y avait cette récupération de calories.

Schéma n° 3 : Environnement froid : le noyau central
occupe son plus faible volume.

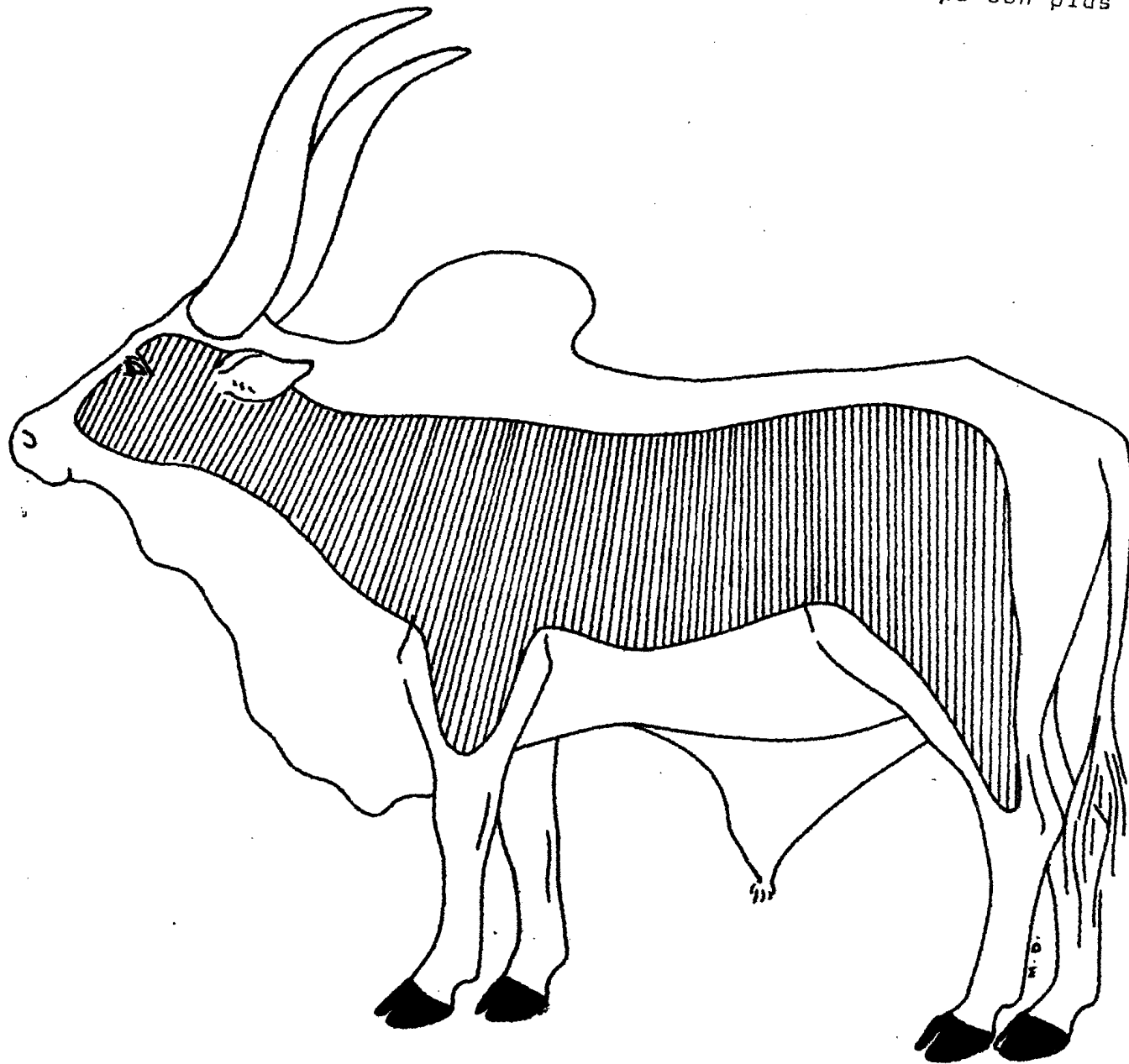
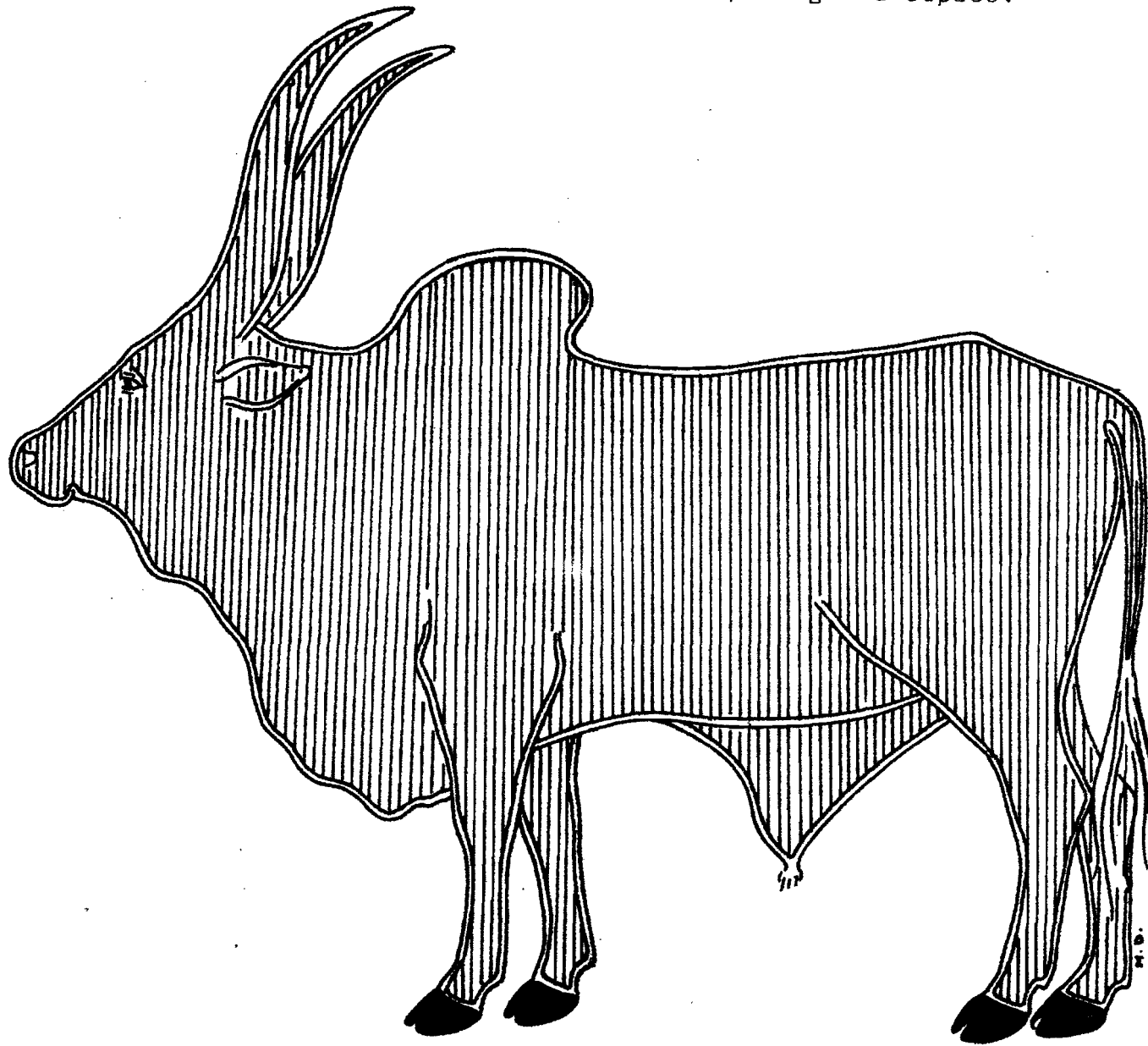


Schéma n°4 : Environnement chaud. Le noyau central occupe son plus grand espace.



M.B.

Dans le milieu chaud ces échanges thermiques à contre-courant se trouvent limités par le phénomène physiologique inverse la vasodilatation périphérique. (schéma n°2). En effet, il est de constatation courante que chez les individus exposés au chaud, les vaisseaux superficiels sont apparents, turgescents. Les zones dépigmentées, la crête et les barbillons du coq sont rouges et chaudes. Le sang artériel porte la chaleur jusqu'à l'extrémité de l'aire radiante périphérique et prolonge ainsi le noyau central, qui de ce fait occupe son plus grand espace (schéma n°4).

Cette vasodilatation entraîne donc une augmentation considérable du débit sanguin. Chez l'homme, par exemple BARGETON (8) a montré que, lorsque la température d'un bain passe de 15 à 35°C on note un minimum dans le débit sanguin lorsque le bain est à 15°C. A partir de cette température dans la zone du chaud le débit subit une ascension pour atteindre au-dessus de 35°C une valeur 35 fois supérieure à celle qu'elle avait lorsque la température du bain se trouvait à 15°C. Les valeurs extrêmes du **rapport** des débits vont de 1 à 100, mais il y a des différences selon les territoires considérés.

Cette vasodilatation extraordinaire apporte des calories au niveau de l'aire radiante, calories perdues par rayonnement, conduction, convection. Malgré cette possibilité énorme de vasodilatation, ces pertes sont limitées par le gradient de température entre la surface cutanée et le milieu ambiant chaud. C'est la raison pour laquelle les individus placés dans le chaud vont par leur comportement renforcer les processus immuables de la thermolyse.

B.- ADAPTATIONS COMPORTEMENTALES :

Les animaux par leur comportement ont tendance à renforcer la thermolyse directe, à cet égard la position des animaux mérite d'être signalée. Par exemple pendant les heures chaudes, le chien s'étale sur le sol cimenté plus frais, augmentant ainsi les pertes de chaleur par conduction.

Le buffle, pendant les heures chaudes de la journée a recours au bain d'eau favorisant ainsi la thermolyse directe.

La thermorégulation par le comportement est un facteur important chez les oiseaux. Les oiseaux habitant des régions torrides (déserts) arrêtent la recherche de la nourriture aux heures chaudes de la journée et se mettent à l'ombre. Dans cette perspective la migration des oiseaux représente un exemple extrême de comportement thermorégulateur : de tels oiseaux quittent les zones équatoriales et tropicales chaudes et se rendent dans les régions à climat tempéré pour y passer la saison chaude (thermopréférendum).

Lorsqu'ils sont exposés aux radiations solaires très chaudes, ils se préservent de l'excès de chaleur en pressant leurs plumes aussi fortement que possible les unes contre les autres en même temps qu'ils écartent leurs ailes du corps, ce qui dénude le thorax moins fourni de plumes et facilite le rayonnement de chaleur.

Le Docteur SERE (112) a rapporté les observations suivantes : le Centre d'Accoupage de Bobo-Dioulasso (Haute-Volta) a importé des pondeuses croisées de plumage noir, (Harcosex link) à haut rendement

qui se sont révélées d'excellentes pondeuses pendant huit mois de l'année (75 % de taux de ponte). Dès le mois d'avril toutes les conditions d'élevage étant demeurées les mêmes on a observé une chute de la ponte brutale (20 %) en même temps qu'une forte mortalité ; alors que la consommation d'aliment baissait considérablement, celle d'eau augmentait dans des proportions importantes. Le matin tout était normal dans le poulailler, mais vers les heures plus chaudes 14h, 16h les mortalités commençaient et tous les animaux étaient en état de lutte contre la chaleur, avec les crêtes et barbillons rouge-sang. A ce propos, la température ambiante était 29°C à l'ombre et très humide , les pluies commençant dès la fin d'avril. Les coups de chaleur ont donc été fortement suspectés en l'absence de toute cause pathologique. Ce qui fut vérifié car les mortalités ont cessé dès qu'on s'avise de mettre à la disposition des animaux des parcours extérieurs gazonnés constamment arrosés. Les pondeuses ont creusé des trous où elles se couchaient aux heures chaudes, favorisant par ce comportement la conduction.

Cette observation suffit à se faire une idée du rôle important du comportement dans la régulation de la température centrale ; comportement qui aboutit au renforcement des processus de la thermolyse directe. Toutefois, ces pertes par thermolyse directe ne sont réellement efficaces que si le gradient thermique est élevé ce qui n'est pas le cas lors de l'exposition à de fortes chaleurs. Dans ce cas le gradient peut disparaître voire même s'inverser. Alors il ne reste qu'une possibilité et une seule, les pertes par évaporation (thermolyse indirecte).

Chapitre II. THERMOLYSE INDIRECTE :

L'évaporation de l'eau est un mécanisme très efficace de déperdition calorifique. Elle est même la seule dont l'efficacité soit conservée, lorsque la température du milieu ambiant est supérieure à celle des surfaces d'évaporation. A ce propos la peau doit être regardée comme la zone principale d'évaporation, l'eau nécessaire à celle-ci étant fournie par les glandes sudoripares.

A.- ACTIVITE DES GLANDES SUDORIPARES :

La sudation est due à l'activité des glandes sudoripares classées en deux catégories qui diffèrent tant par la composition de la sueur que par leur rôle dans la thermorégulation.

Ce sont les glandes apocrines annexées aux poils (épitrichiales) et les glandes eccrines atrichiales).

1°) Les glandes eccrines :

Les glandes eccrines sont constituées chacune par un tube à paroi épithéliale enroulé en peloton : le glomerule, entouré de capillaires sanguins est situé dans le derme de la peau. Le glomerule se prolonge par un canal excréteur qui s'ouvre à la surface de la peau par un pore.

Elles se rencontrent chez l'homme, les primates tel le chimpanzé sur tout le corps. Elles sont par contre localisées au groin du porc et enfin à la plante des pieds chez le chien et le chat (44).

Ces glandes ont une sécrétion fluide de type mérocrine. Il résulte des recherches de LOBITZ et MASON (67) que la composition chimique de la sueur varie avec le type de fonctionnement des glandes sudoripares. C'est ainsi que la concentration des chlorures, de l'urée, de l'acide urique et de l'ammoniaque est plus élevée lors de la sécrétion intermittente que lors de la sécrétion continue.

La sueur de l'homme contient 99 à 99,5 % d'eau et 1 à 1,5 % de matière sèche (44).

La sécrétion est sous l'influence d'une innervation qui bien que sympathique du point de vue anatomique est cholinergique du point de vue physiologique (31).

2°) Les glandes apocrines :

Le type apocrine est caractérisé par son association fréquente avec les poils. Elles prédominent chez les autres primates notamment l'ourang-outang, mais surtout chez tous les mammifères où elles se répartissent sur tout le corps. Elles se localisent à l'aisselle, au pubis chez l'homme et le chimpanzé. On pourrait les considérer comme des glandes odorantes.

Il existe dans un nombre appréciable de cas un rapport entre le rythme d'activité de ces glandes au cours de l'année d'une part, le cycle reproducteur d'autre part. SCHAFFER (56) en cite de nombreux exemples. La fonction attractive de ces produits de sécrétion au moment du rut a été affirmée chez certaines espèces (phénormones).

D'autre part, les glandes apocrines carpiennes pourraient servir à tracer des pistes (44) et jouer ainsi un rôle social sans relation directe avec la reproduction. Il y a lieu de rappeler à cet égard que les glandes apocrines de l'homme présentent une évolution dont les rapports avec le cycle génital sont nets, mais que la marge de variations individuelles est considérable.

L'analyse chimique du produit de sécrétion des glandes apocrines n'a été effectuée que chez un petit nombre d'espèces. Des sucres réducteurs de l'ammoniaque (44) du fer (80) ont été mis en évidence dans la sueur de l'homme. La sueur du cheval provenant des glandes apocrines annexées aux poils contiennent des protides (120) ce qui explique la formation d'écume par la sueur du cheval.

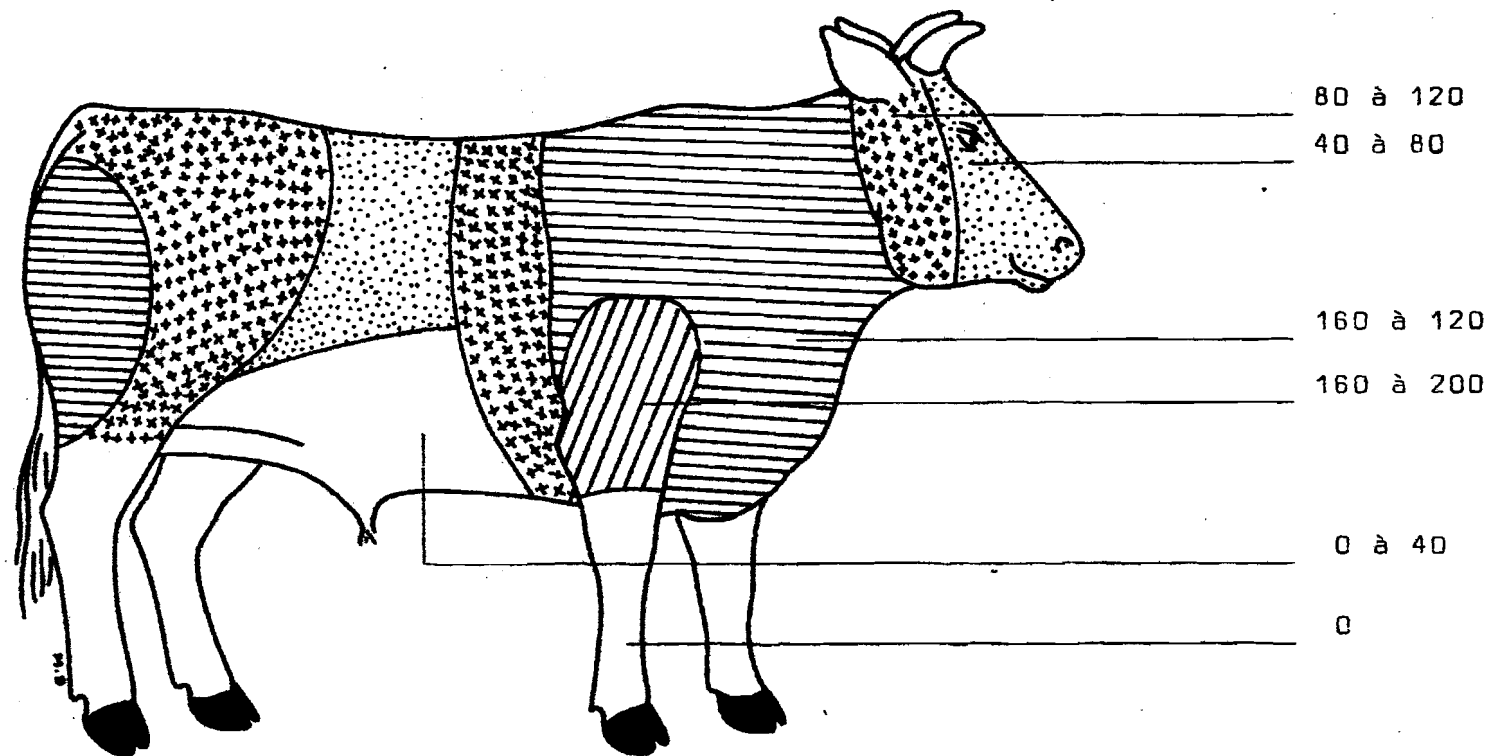
L'innervation double, comprend le système orthosympathique et le système parasymphathique, avec une prédominance du premier. Ce qui explique la sudation profuse du cheval sous l'effet de l'adrénaline circulante (9).

Enfin il faut remarquer que le rôle des glandes apocrines dans la thermorégulation est discuté sauf pour les bovins, les équins et les ovins.

B.- QUANTITES DE SUEUR :

La sudation atteint pleinement son effet chez l'homme. LADELL (23) en Arabie note un chiffre de 0,5 l/h. Cependant qu'ADOLPHE et DILL (1) dans le Névéda trouvent des chiffres supérieurs : 1,3 à 1,7 l/h. On estime que si l'homme est convenablement

Schéma n°5 : Les points de sudation chez un taureau déterminés par des capsules attachées à la peau. Les taux sont exprimés en pourcentage du taux moyen.



ravitailié en eau et en sel, il est capable de résister facilement aux températures élevées. SCHOLANDER (107) écrit que l'homme est un animal typique des tropiques.

Le cheval se situe tout juste au même niveau relatif de sudation que l'homme et s'adapte très bien à la chaleur. Le cheval n'est-il pas pleinement utilisé dans le désert son berceau d'origine ? Les purs sang anglais importés au Sénégal (Dahra) effectuent la montée normalement sans être incommodés par les rigueurs climatiques.

Chez les bovins, l'intensité de la sudation varie en fonction des différentes parties corporelles. Par des capsules adhérentes à la peau, BLAXTER (14) a pu repérer les points de sudation chez le taureau et établir le pourcentage du taux moyen dans les différentes régions et montrer que les pourcentages élevés se rencontrent dans la zone au-dessus de l'humérus et les plus bas dans les zones abdominales (schéma n° 5). La sudation est importante au niveau de l'épaule et du cou.

D'après DUKE'S (28) le maximum de sécrétion sudorale utilisée dans l'évaporation cutanée est de 150g/m²/h à une température ambiante de 40°C. Selon BRODY (18) la sudation représente les 2/3 des pertes de chaleur chez les bovins.

Chez les ovins, la sudation existe sans être importante. Le maximum est de 32 g/m²/h (28) soit une dissipation de 20 kcal/h, ce qui est faible comparé aux 1000 kcal/h chez l'homme.

Les pertes de chaleur par voie cutanée dépendent de deux facteurs : la quantité d'eau sécrétée et la quantité d'eau évaporée.

Le premier est d'ordre physiologique, lié à l'activité des glandes sudoripares. Le second est d'ordre physique, son intensité dépend de la différence entre la température cutanée et la température extérieure, de l'état hygrométrique et son agitation.

La quantité d'eau évaporée, indépendante de l'animal, conditionne l'efficacité du premier, car si la sueur est sécrétée et que l'eau qu'elle contient ne peut être évaporée, le travail de la sudation est perdu pour la régulation de la température.

C.- LA POLYPNEE THERMIQUE :

Elle est exclusive chez le chien, le chat, le porc, ~~les oiseaux~~, ~~les petits ruminants~~, ~~les grands ruminants~~ par ordre décroissant.

L'efficacité de la polypnée dans la thermorégulation est aussi bonne, sinon meilleure que la sudation. SAPIN JALLOUSTRE (106) montre que le chien arctique n'est nullement incommodé par le passage et le séjour dans les tropiques. Il convient ici de citer le pari tenu par le Dr BLAGDEN (14) il y a deux cents ans qui demeura trois quarts d'heure dans une chambre à 260°F (120°C). Le steak qu'il emporte avec lui était cuit à point, mais son chien gardé dans un panier afin de protéger ses pieds des brûlures s'en sortit indemne avec son maître.

.../...

L'efficacité est encore démontrée par le fait que si chez le chien on empêche la polypnée de se faire à l'aide d'une muselière, la température centrale ne tarde pas à monter pour vite devenir léthale. Toutefois par rapport à la sudation son coût énergétique est quatre fois plus élevé (45).

Chez le porc la polypnée thermique est capitale surtout chez les gros porcs. Son intensité est voisine de celle du chien, mais l'efficacité n'est pas la même (48).

Chez les oiseaux ce mode de dissipation de chaleur demeure le seul applicable devant l'isolement thermique quasi absolu du plumage. Chez les poules, pour une température corporelle de 44°C la polypnée thermique atteint 140 - 170 /mn (45).

La tolérance à la chaleur est relativement faible vu l'étroitesse de la fente buccale.

Chez les petits ruminants, étant donné la faible quantité de chaleur éliminée par la sudation, la polypnée est extrêmement efficace comme moyen de thermolyse. Le mouton peut maintenir une température centrale plus basse que de nombreux mammifères. Cet animal qui est très bien isolé par sa toison est un très bon homéotherme qui est aussi bien adapté au chaud qu'au froid. Si un homme et un mouton sont placés dans la même ambiance chaude, le mouton manifeste rapidement la polypnée thermique et sa température centrale ne varie pas. L'homme ne commence à suer qu'au bout d'une vingtaine de minutes et sa température centrale s'élève (16).

.../...

Chez les bovins cette forme de dissipation de chaleur ne représente qu'un tiers (1/3) des pertes totales de chaleur (62)

Chez l'homme la polypnée thermique est inexistante. Il convient toutefois de signaler que si la sudation est inefficace (bain chaud, exercice musculaire intense) lorsqu'enfin les glandes sudoripares sont détruites du fait de la maladie (lèpre) la polypnée apparaît avec une efficacité limitée.

D.- MECANISMES ACCESSOIRES :

1°) La salivation :

Elle est une forme accessoire d'évaporation chez certains animaux où elle est un adjuvant de la polypnée thermique et qui prend une importance particulière chez le chat et surtout chez les muridés (rat, souris).

L'exposition du rat à des températures ambiantes chaudes provoque une salivation profuse dont l'animal s'enduit le corps. L'évaporation de cette eau entraîne la réfrigération du corps de l'animal en l'absence de toute sudation. Ce mode particulier de thermolyse a été bien étudié par HAINSWORTH et STRICKER (46) chez le rat. L'élévation de la température provoque d'abord, bien avant l'installation de la vasodilatation cutanée une sécrétion salivaire sous-maxillaire et sublinguale. Dans un deuxième temps on note l'apparition d'une salivation parotidienne contemporaine de la modification de posture de l'animal qui tend à augmenter ainsi la surface de déperdition.

A cet égard, la salivation sublinguale et sous-maxillaire joue un rôle de premier plan car la ligature de leurs canaux conduit à la suppression de la lutte contre la chaleur chez ces animaux.

Ce mode est également utilisé accessoirement chez l'éléphant. On n'a pas décelé des glandes sudoripares sur la peau de cet animal, et il n'augmente pas sa fréquence respiratoire sous l'effet de l'élévation de la température centrale. Quand il fait chaud il asperge le corps avec l'eau au moyen de sa trompe, s'il manque d'eau, il introduit sa trompe dans sa bouche et prélève la salive et s'en asperge (64).

La salivation existe chez le chien, le chat, le lapin. Elle est observée chez les bovins, chez lesquels on a noté une sécrétion d'un litre de salive par heure (91).

Ce dernier point est en accord avec la description de MACFARLANE (72) selon laquelle la nature des sécrétions des glandes du mufle des bovins est non sudorale mais salivaire. Les glandes du mufle des bovins ne sont pas des glandes sudoripares mais des glandes salivaires modifiées.

2°) Utilisation de l'urine :

Ce mode de dissipation est essentiellement utilisé par les porcins et les bovins (litière humide). Quand il fait chaud ces animaux cherchent à se refroidir en humidifiant leur peau, au besoin

.../...

avec leur urine et en se couchant de manière à ce que la partie mouillée de leur corps soit exposée à l'air.

Enfin, citons l'excrément liquide des outardes qui s'enduisent les parties dénudées du corps, les pattes en particulier, ce qui favorise l'évaporation.

+

+ +

La sudation intervient pleinement dans la thermorégulation chez l'homme, les équidés, les bovins, les ovins dans l'ordre décroissant. La polypnée thermique atteint son efficacité maximum chez le chien, le porc puis viennent la volaille, le mouton et le boeuf. En plus, il existe une forme adjuvante d'évaporation, surtout chez les animaux qui font la polypnée : la salivation. De toute façon, que ce soit la sudation, la polypnée, l'organisme perd de l'eau et cela entraîne des conséquences sur le plan métabolique notamment sur le transit de l'eau et des électrolytes.

.../...

Chapitre III

CONSEQUENCES SUR LE TRANSIT HYDROMINERAL :

Il existe une réponse précoce à l'exposition au chaud et une réponse tardive.

A.- REPONSE PRECOCE :

Elle intervient une demi-heure à une heure, elle est caractérisée par un appel d'eau vers le sang, d'où hémodilution (augmentation de la masse sanguine) chute de la densité du sérum et du sang, diminution de la concentration de protéines, et des hématies. Cependant, il convient de souligner que lors d'une exposition à une chaleur intense ces phénomènes peuvent se trouver masqués par la perte importante d'eau qui en résulte.

Cette hémodilution a deux buts :

- augmentation de la masse sanguine pour répondre aux besoins de la vasodilatation cutanée ;

- préparation humorale à la sudation ou à la polypnée. Cette préparation est indispensable si l'on se rappelle que chez l'homme la sudation peut dépasser 1 l/h. Plusieurs faits montrent son intervention.

La transfusion du sang d'un chat placé au chaud déclenche chez un autre chat séjournant à une température normale la sudation de la face plantaire de la patte (81).

Si on remplace la transfusion sanguine par injection à l'animal témoin de solution de NaCl à différentes concentrations, on constate que l'injection de sérum hypotonique permet de déclencher une sudation. On remarque donc qu'indépendamment des exigences de la thermorégulation, la sécrétion sudorale est un moyen de l'organisme pour éliminer en complément à l'excrétion rénal, l'eau éventuellement en excès.

L'écart de température centrale nécessaire à l'installation de la polypnée thermique chez le chien est diminué par l'injection intraveineuse de sérum hypotonique, augmenté par le sérum hypertonique. Comme il n'existe pas chez l'homéotherme de tissu ou d'organe jouant le rôle de réservoir d'eau, l'hémodilution lors du début de l'exposition au chaud ne peut provenir que d'une diminution des pertes rénales d'eau sous l'effet d'A.D.H.

Comme preuve, il faut noter que l'organisme exposé au chaud élimine par rapport à la diurèse de la neutralité thermique, une urine plus concentrée et de volume réduit (et ceci malgré l'hémodilution qui a elle seule aurait tendance à augmenter l'élimination rénale). Après hypophysectomie ou après section du faisceau supra-opticohypophysaire, les variations de la diurèse en fonction de la température extérieure n'apparaissent plus (14).

Donc pendant le début de la période d'exposition au chaud, la diminution de la diurèse et l'hémodilution sont dues à la libération de l'A.D.H.

B.- REPONSE TARDIVE :

Il se produit une adaptation progressive lors de l'exposition au chaud : le taux des protéines et avec un certain retard, celui des hématies tend à s'ajuster à la nouvelle masse de plasma.

On observe d'ailleurs des variations saisonnières de la composition du sang. Chez le cheval, la moyenne mensuelle de la concentration des protéines du plasma accuse une chute progressive au printemps, puis un retour rapide à la normale au mois de juin.

Chez l'homme, les courbes de la densité spécifique du plasma indiquent une chute au printemps, un retour vers les valeurs normales au mois de juillet et une augmentation marquée pendant l'hiver (48). Par contre RUSOFF et PIERCY (104) n'ont pas mis en évidence, chez la vache de variation de la composition du sang au cours des saisons.

Les processus thermolytiques entraînent donc des mouvements importants d'eau à l'intérieur de l'organisme et tendent à provoquer une diminution de la charge hydrique de l'animal.

C.- LA DESHYDRATATION :

Si la sudation et la polypnée thermique sont importantes, il en résulte des pertes d'eau importantes. On observe une véritable déshydratation de l'organisme qui atteint dans un premier temps

.../...

le secteur extra-cellulaire et dans un second temps le secteur intracellulaire. Il s'ensuit une hémococoncentration. La sécrétion de l'A.D.H. est puissamment stimulée par les osmorécepteurs. L'ensemble de ces phénomènes entraîne la soif.

Outre la perte d'eau, la sudation s'accompagne de la fuite inutile pour l'organisme, d'autres éléments du sang. C'est le cas surtout du sel, qui entraîne des troubles de l'équilibre hydromineral, qui provoque des crampes musculaires fréquentes chez les sportifs lors d'effort musculaire violent dans les pays chauds : (lors des prolongations des matches de foot-ball). Ce phénomène est bien connu également des mineurs.

Chez l'homme, les travaux de MITCHEL et COLL (78) ont montré que 2 mg de fer en moyenne sont éliminés par litre de sueur. Les pertes du fer au cours d'une sudation abondante peuvent s'élever à 1,77 mg par heure. Toutefois, il faut remarquer que l'importance et la signification du fer chez l'homme sont inconnues. La sueur du cheval et des bovidés contiennent également des protides (120, 78)

Il faut remarquer que la polypnée thermique par contre ne s'accompagne pas d'une fuite de chlorure de sodium.

Le comportement de l'homme et du chien qui lutte contre le chaud lors de prise de boisson pour combler le déficit hydrique, illustre bien cette différence fondamentale entre la sudation et la polypnée (27).

Le chien assoiffé comble, lorsqu'il a de l'eau, tout son déséquilibre hydrique, parce que sa soif est plus intense, son sang est plus concentré en sel.

L'homme au contraire qui a perdu de l'eau et du sel, sent moins la soif et ne comble pas tout son déficit hydrique, c'est le phénomène de la déshydratation volontaire. Chez l'homme, le chlorure de sodium perdu n'étant pas remplacé, l'organisme devra ingérer moins d'eau pour reconstituer une pression osmotique normale. Ce n'est que lorsqu'il ingérera du sel que son déficit sera totalement rétabli.

D.- LES LIMITES DE LA LUTTE CONTRE LE CHAUD :

Les mécanismes de lutte contre la chaleur sont efficaces pour maintenir la température centrale dans des limites compatibles avec la vie. Cependant l'organisme peut être forcé par le chaud pour plusieurs raisons découlant d'ailleurs de la connaissance des mécanismes de la thermolyse.

- une température extérieu**re** trop élevée,
- une exposition de longue durée,
- un état hygrométrique élevé qui inhibe l'efficacité de la sudation,
- lorsqu'on empêche la polypnée par une muselière,
- un rationnement hydrique : à une température ambiante de 40°C, la température cutanée de l'agneau atteint 45°C. La sudation

.../...

est abondante, la fréquence respiratoire passe à 450/mn d'où fatigue de l'animal, il peut mourir en 4 à 6 heures s'il ne reçoit pas suffisamment de lait ou d'eau pour compenser l'évaporation (45).

s La mort survient en hyperthermie par collapsus cardiovasculaire. La mort peut être due également à la précipitation des protéines, pour des températures supérieures à 42°C chez les mammifères. Cette température n'est pas absolue, elle est variable selon les espèces et à l'intérieur de l'espèce selon l'adaptation.

+

+ +

L'homéotherme utilise deux modes de dissipation de la chaleur ; un mode dont l'efficacité n'est vraiment importante que lorsque la température ambiante s'élève peu au-dessus de la zone de neutralité thermique : la thermolyse directe. En effet, chaque fois que l'animal le peut c'est ce mode qu'il va utiliser, car peu coûteux du point de vue énergétique d'où l'importance des processus comportementaux. Le deuxième mode qui utilise l'eau par la sudation et la polypnée thermique nécessite de l'eau en provenance du milieu intérieur et est coûteux en ce qui concerne sa dépense énergétique, surtout la polypnée thermique.

C'est pour cela qu'il serait intéressant de les mettre en jeu le plus tardivement possible. Comme le comportement est réglé par les structures du système nerveux central de même que la mise en jeu de la sudation, et de la polypnée thermique, il est donc indispensable de rechercher des structures nerveuses régulatrices de ces mécanismes complexes de la thermolyse.

T R O I S I E M E P A R T I E

ROLE DU SYSTEME NERVEUX DANS L'HOMÉOSTASIE

DE LA TEMPERATURE CORPORELLE

Le maintien de la température corporelle en zone chaude fait appel à des réactions de l'organisme dont la commande est de nature nerveuse.

En effet, la vasomotricité cutanée est sous la dépendance du système nerveux orthosympathique ; les centres sont médullaires (colonne intermédiolatérale).

La sudation dépend du système orthosympathique pour les glandes apocrines (épitrichiales).

La polypnée thermique met en jeu de façon intensifiée, les muscles respiratoires.

Cette participation du système nerveux se fait à trois niveaux :

- la perception des informations au niveau des récepteurs situés à la périphérie ou à l'intérieur de l'organisme,
- leur intégration au niveau des centres nerveux,
- la transmission en vue de la mise en jeu des réactions thermorégulatrices.

Chapitre I LA PERCEPTION DES INFORMATIONS :

LES RECEPTEURS THERMIQUES

Le stimulus chaud est perçu au niveau des zones sensibles des récepteurs situés à plusieurs niveaux. C'est ainsi qu'on peut
.../...

distinguer des récepteurs périphériques et des récepteurs centraux.

A - RÉCEPTEURS PERIPHERIQUES :

Les uns sont superficiels, les autres profonds.

1) Récepteurs superficiels

L'existence de thermorécepteurs cutanés intervenant dans la régulation de la température a été mise en évidence par BROWN SEQUARD et THOLOSAN (20) ; ils constatent en effet que la réfrigération d'un membre entraîne le refroidissement du membre homologue (réaction de lutte contre le froid du membre opposé d'où vasoconstriction). Le phénomène a été retrouvé par d'autres auteurs et expérimentateurs qui montrent que le réchauffement d'un membre entraîne les réactions de lutte contre la chaleur du membre symétrique ; à savoir la vasodilatation, la sudation.

En outre, il est nécessaire que l'innervation des récepteurs cutanés des zones soumises au chaud et au froid soit intacte. La réaction ne se produit plus si on innerve le membre, ou on exclut les récepteurs superficiels par cocaïnisation de la zone plongeant dans le bain chaud.

Les thermorécepteurs cutanés ont non seulement un rôle de détecteur de température, mais aussi régulateur. Pour ces récepteurs, il existe une température cutanée préférentielle, c'est-à-dire, utilisée comme point de référence pour les sensibilités thermiques

.../...

cutanées (33°C chez l'homme). Tout écart à partir de ce point constitue un stimulus de thermorégulation dont l'intensité est proportionnelle à cet écart.

Les études électrophysiologiques de ZOTTERMAN et collaborateurs (122) ont permis de préciser ces données. Ces auteurs choisissent une préparation où l'application graduée du chaud et du froid est facilement dosable : la partie antérieure de la langue du chat.

Les variations de température et les températures absolues sont enregistrées à l'aide de couples thermoélectriques et les décharges de récepteurs sont enregistrées au niveau des fibres nerveuses isolées, reconnues comme transmetteurs électifs des stimuli thermiques : fibres du nerf lingual ou de la corde du tympan (nerf intermedio-facial).

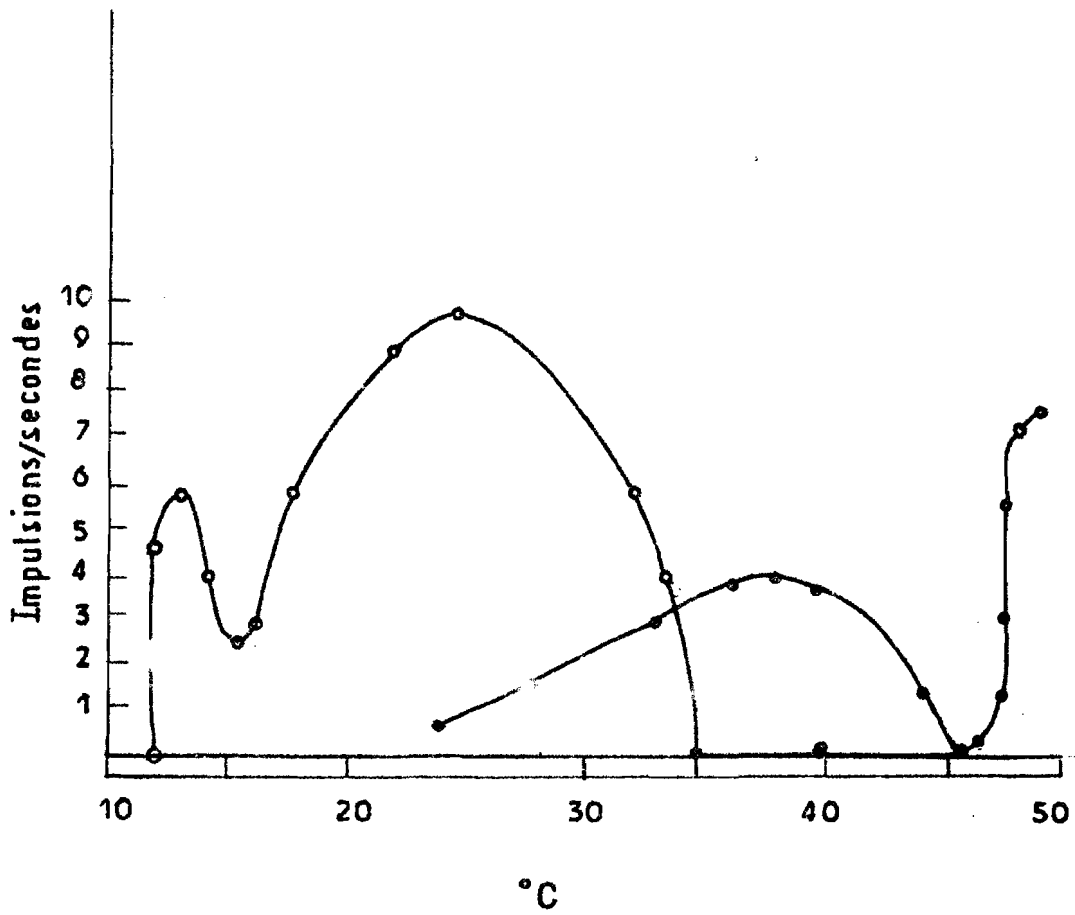
A l'état de repos, il existe une décharge continue, fixe, qui représente un certain tonus des récepteurs, et qui est transmis aux centres thermorégulateurs. A partir de cet état, l'augmentation des décharges se produit avec l'augmentation de la température dans le chaud, (pour les récepteurs au chaud) avec la diminution de la température dans le froid (pour les récepteurs au froid), jusqu'à un maximum qui se situe à 20 - 25°C pour les récepteurs au froid, 40°C pour les récepteurs au chaud (voir le schéma n° 6)

La température pour laquelle on obtient le maximum en

.../...

SCHEMA n°6 COURBE DE ZOTTERMAN

- Récepteurs au froid
- Récepteurs au chaud



SOURCE (1)

sensibilité est variable suivant les espèces, et chez une même espèce suivant les régions cutanées.

Chez les ovins, WAITES et collaborateurs (116) ont montré l'importance du scrotum dans l'homéostasie de la température corporelle. La peau de cette région dénudée contient des récepteurs qui sont particulièrement sensibles aux variations de température.

Expérimentalement, le chauffage de cette région seule, déclenche le processus de thermolyse (polypnée) et la température centrale de l'animal s'abaisse. Par contre, le chauffage d'une surface équivalente en une autre région cutanée ne provoque pas ces phénomènes.

Chez les femelles, la région mammaire est également richement pourvue en de tels récepteurs capables de mettre en oeuvre les réactions de lutte contre la chaleur, ou le froid.

Chez le chat, les expériences de comportement montrent que la région de la tête est plus sensible au chaud que les autres régions du corps. On constate la présence de nombreux récepteurs au chaud dans la région nasale (47). Ils déchargent pour une température allant de 30 à 48°C la fréquence maximale étant observée à 45°C.

La seule région où existe une telle densité de thermorégulateurs au chaud est le scrotum de rat, (54). La température de

décharge maximale se situant selon cet auteur à 40°C. L'idée originale selon laquelle les récepteurs au froid sont les corpuscules de RUFFINI et les récepteurs au chaud, les corpuscules de KRAUSE, n'est plus admise aujourd'hui.

En dépit des recherches menées de tout temps par les histologistes et les physiologistes, la structure exacte des récepteurs de température n'est pas encore élucidée. Seuls les axones qui convoient les stimuli thermiques sont identifiés (55). Chez les primates, ce sont les fibres A, de diamètre compris entre 1 et 3 μ myelinisées, dont la vitesse de conduction est de 4 à 15 m/sec. Ces fibres sont non seulement stimulées par des variations de la température de la peau, mais également par des pressions ou des attouchements légers.

Chez le chat, le chien et le rat, l'influx est conduit aux centres par des fibres non myelinisées de type C (1 μ de diamètre, vitesse de conduction 2 m/sec.). L'influx résultant de l'excitation des récepteurs chemine par la racine postérieure de la moelle, croise au niveau de la médullaire, monte par le faisceau spino-thalamique latéral jusqu'au thalamus ou après relai, il gagne l'écorce cérébrale.

Comme tous les influx sensitivo-sensoriels, un double est envoyé à la substance réticulée. La transmission à l'hypothalamus se fait vraisemblablement par l'intermédiaire de la substance réticulée.

.../...

La transmission du message au froid est plus rapide que celle du message au chaud. Ceci ne vient pas du fait d'une vitesse de l'influx nerveux supérieur, (les fibres nerveuses au chaud étant en général de plus gros calibre) mais tout simplement de la situation des récepteurs au chaud plus en profondeur. En effet, le stimulus froid est perçu de suite, la brûlure est perçue alors que vous êtes sur le stimulus chaud depuis un petit moment.

Il existe en outre, des récepteurs situés plus en profondeur dans l'organisme, ce sont les récepteurs viscéraux de connaissance beaucoup plus récente.

2) Récepteurs profonds

Ce sont des récepteurs localisés dans la cavité abdominale mis en évidence par les travaux de MAWSON et collaborateurs (90). Le réchauffement de la cavité abdominale dans une ambiance de neutralité thermique chez le mouton, déclenche immédiatement la polypnée thermique ou lorsque l'animal se trouve en zone froide et lutte contre le froid, une diminution de la production de chaleur.

Ces récepteurs thermiques seraient localisés dans la paroi du rumen ou de l'intestin. En effet, quelques études récentes vont dans le sens de cette localisation. WOOD (119) découvre des neurones sensibles à la chaleur dans le plexus d'Auerbach du chat. La réponse à la chaleur n'est pas abolie par les substances ganglioplegiques alors que l'action de l'innervation intrinsèque de l'intestin est abolie.

Poursuivant son idée, RANSON et QUICK (89) montrent que la splanchnicectomie unilatérale abolit la réponse du côté ipsilatéral, au refroidissement ou au réchauffage de l'abdomen. D'où l'idée de réaliser le réchauffement du contenu du rumen ou de la paroi du rumen. Cette opération entraîne la même réaction correctrice que le réchauffement de l'abdomen.

Les nerfs splanchniques représentent la voie afférente de ce réflexe thermorégulateur.

Ainsi il apparaît que le rumen joue un rôle important aussi bien dans les phénomènes métaboliques que dans l'homéostasie de la température corporelle.

Ces récepteurs périphériques, superficiels ou profonds transmettent les informations aux centres thermorégulateurs directement ou via les relais. Au niveau de ces relais, des récepteurs thermiques ont pu être localisés.

B- RECEPTEURS CENTRAUX :

Les plus anciennement connus sont les récepteurs hypothalamiques, puis les récepteurs médullaires.

1) Récepteurs hypothalamiques

La thermosensibilité centrale a été localisée au niveau de l'hypothalamus antérieur, où se trouve un thermodétecteur sensi-

.../...

ble aux variations de température de l'ordre du $1/10^e$ de degré. Ce détecteur fonctionne à la manière d'un thermostat et commande à des réactions thermorégulatrices parfaitement adaptées ; lorsque la température du noyau central s'écarte dans un sens ou dans l'autre de sa valeur normale. Si ce fait est admis, sa démonstration expérimentale s'avère difficile du fait de l'existence des centres thermorégulateurs et de synapses, de sorte qu'il est malaisé de distinguer ce qui est neurone de ce qui est axone et synapse. Les premières études furent réalisées par NAKAYAMA (82) sur l'animal anesthésié. Cet auteur n'a découvert aucun neurone qui augmente leur décharge avec la diminution de la température. Par contre, l'auteur met en évidence de nombreux neurones sensibles à l'élévation de la température.

Plus récemment d'autres auteurs ont mis en évidence les deux groupes de population neuronale, mais observent toutefois un nombre beaucoup plus réduit de neurones sensibles à l'abaissement de la température hypothalamique, ce qui a pu contribuer à les ignorer dans les études antérieures.

Ces techniques précises, mises en oeuvre pour localiser les thermorécepteurs hypothalamiques ont conduit à montrer l'existence d'autres centres thermosensibles, notamment médullaires.

2) Récepteurs médullaires :

SIMON (28) découvre des thermorécepteurs spinaux dont le

.../...

regroissement ou le réchauffement détermine les réactions caractéristiques de lutte contre le froid et le chaud chez le chien éveillé.

Ces études ont été poursuivies par JESSEN CLAUS (57) qui montre que la moelle ne joue pas un simple rôle de relai entre centres nerveux thermorégulateurs et récepteurs périphériques. En effet, l'excitation simultanée de la moelle et de l'hypothalamus par le chaud détermine une réaction correctrice plus forte que l'excitation de chacun des récepteurs pris isolément.

Toutefois les informations thermiques en provenance de la périphérie, profonde ou superficielle, des récepteurs centraux sont transmises à des centres thermorégulateurs en vue de leur intégrations.

Chapitre II INTEGRATION DES INFORMATIONS THERMIQUES :

LES CENTRES NERVEUX THERMOREGULATEURS

C'est dans l'hypothalamus que se fait l'intégration dans le fonctionnement thermorégulateur des informations en provenance des récepteurs thermiques. C'est là que s'élabore la coordination des diverses réactions synergiques mises en jeu pour lutter contre le chaud. Ceci a été montré par étapes.

A- HISTORIQUE:

Ces centres thermorégulateurs ont été localisés très tôt dans le diencephale.

.../...

Dès 1884, plusieurs auteurs RICHET, OTT, ARONHSON et SACHS obtiennent une hyperthermie en pratiquant une piqûre dans la région du 3^e ventricule chez le lapin (piqûre thermique).

BARBOUR (6) chez le lapin constate de grandes variations de la température de l'oreille à la suite du chauffage ou du refroidissement artificiel de la base du cerveau.

La même année, ISENSCHMIDT (5) démontre que ni le cortex cérébral, ni les corps striés ne sont essentiels pour la régulation thermique. Ces résultats sont confirmés par les expériences de décortication de PINKSTON et collaborateurs (85).

Par contre, la destruction de l'hypothalamus fait apparaître des troubles très graves de la régulation thermique (88).

Depuis les méthodes se sont multipliées, qui ont permis de localiser le centre thermorégulateur de la lutte contre le chaud.

B- METHODES D'ETUDE :

L'utilisation de la stéréotaxie grâce à la construction de l'appareil de HORSLEY CLARK, permet d'atteindre avec une précision remarquable n'importe quel point du massif cranio-facial. On peut donc implanter de fines électrodes en divers points du système nerveux central.

.../...

Grâce à ces électrodes on peut réaliser

- un chauffage par courant de haute fréquence,
(chauffage par diathermie)
- une stimulation électrique,
- un enregistrement de l'activité électrique de population neuronale,
- une électro-coagulation, une destruction limitée à une zone de très faible dimension.

On peut en outre introduire une sonde métallique à double circulation (thermode) dans lequel circule un fluide (liquide ou gaz) dont on peut varier la température.

Les réponses utilisées comme test sont :

- installation et intensité de la polypnée thermique (36)
- installation et intensité de la sudation
- déclenchement de la vasodilatation (74)

C- RESULTATS

Toutes ces expériences ont permis de localiser au niveau de l'hypothalamus antérieur, le centre de la thermorégulation au chaud.

Des lésions de l'hypothalamus antérieur entraînent l'impossibilité pour l'animal de lutter contre la chaleur. Il ne peut

.../...

haleter, suer ou augmenter l'apport sanguin a la surface cutanée.

De tels faits ont été décrits chez l'homme porteur de lésions de l'hypothalamus antérieur.

La stimulation électrique, de même que le réchauffement de cette zone déclenche une polypnée intense, une vasodilatation cutanée. Si une telle stimulation est réalisée en zone froide alors que l'animal lutte contre le froid par le frisson thermique, il se produit une inhibition du frisson.

Ces faits ont été observés chez un grand nombre d'espèces animales :

Chez le chat (Mégoun et Coll). (74)

la chèvre (Andersson B. et coll.) (4)

le chien (Fusco M.M. et coll.) (35)

le boeuf (Findlay J.D. et coll.) (32)

le porc (Ingram D.L. et coll.) (53)

Les enregistrements de potentiel électrique ont permis de collecter des résultats intéressants.

Chez le chien, les neurones centraux sensibles au chaud ont une activité électrique qui dépend de leur propre température. La stimulation des récepteurs périphériques du froid ou du chaud ne

.../...

modifie pas cette activité électrique des neurones centraux.

A côté de ces neurones centraux régulateurs de la température, WIT (118) décrit chez le chat des neurones d'un type spécial qui répondent non seulement à l'élévation de la température hypothalamique, mais aussi à l'élévation de la température cutanée.

On peut donc dire qu'il existe deux groupes de population neuronale.

Le premier groupe répond par une augmentation d'activité due à une augmentation de la température hypothalamique, mais n'est nullement affecté par une élévation de la température cutanée.

Le deuxième groupe répond à une augmentation de la température cutanée, mais leur nombre de décharges augmentent davantage si on chauffe l'hypothalamus.

Le nombre respectif de ces neurones est variable selon les espèces :

- Le premier groupe représente les centres thermorégulateurs ,
- le deuxième groupe, les récepteurs hypothalamiques et les relais des récepteurs périphériques.

Ceci amène à envisager le rôle respectif du centre thermorégulateur et des récepteurs.

.../...

Chapitre III ROLE RESPECTIF DU CENTRE THERMOREGULATEUR
ET DES THERMORECEPTEURS PERIPHERIQUES

Ce rôle a été analysé chez l'homme par BENZINGER, et chez certains animaux domestiques par INGRAM et collaborateurs.

A- CHEZ L'HOMME

BENZINGER (11) réalise des mesures très précises de la température centrale (température tympanique) des températures cutanées, des déperditions caloriques par sudation.

Le phénomène essentiel mis en évidence par l'auteur est que la sudation ne résulte pas d'une stimulation cutanée par la chaleur. Quelques exemples permettent de mettre ce fait en évidence.

- On place un homme dans une ambiance chaude, la température cutanée monte au début puis baisse du fait de la mise en jeu de la sudation qui refroidit la peau. Si la sudation dépendait uniquement de la température cutanée elle devrait s'arrêter, ce qui n'est pas le cas.

- La même observation peut être faite lors du travail musculaire intense

Par contre la sudation dépend de la température centrale et selon BENZINGER le déclenchement d'origine centrale de la sudation est le phénomène le plus sûr de la thermorégulation physique dans la lutte contre la chaleur.

.../...

L'efficacité du phénomène est mise en évidence par les deux observations suivantes :

- A partir de la température centrale seuil d'environ 36,9°C une hyperthermie de 1°C est corrigée au départ à raison de 0,16°C par minute.

- A partir d'une déviation de la température centrale et arrêt du stimulus au chaud le retour complet à la normale se fait en une trentaine de minutes qui est rapide si l'on considère l'inertie du système.

Ce schéma de base de la régulation c'est-à-dire, l'influence prépondérante des stimulations centrales peut être perturbée par les activités antagonistes des récepteurs cutanés au chaud et au froid. C'est ce qui se produit lors du travail musculaire intense en atmosphère froide ; dans ce cas, une thermogénèse importante entraîne une augmentation de la température centrale, alors que la température cutanée du fait de la mise en route de la sudation peut être très basse. Le système thermorégulateur reçoit alors des centres et de la périphérie des messages contradictoires. Dans ce cas la sudation déclenchée par l'élévation de la température centrale peut être partiellement ou totalement inhibée par des influx d'origines périphériques.

En fait les travaux de BENZINGER ont montré que la sudation est indépendante de la température cutanée lorsque celle-ci est supérieure à 33°C. Pour des températures cutanées inférieures à cette valeur il se produit une inhibition de la sudation d'autant

.../...

plus importante que la température ambiante est basse. Toutefois, il existe des variations individuelles importantes et selon ces auteurs ces variations dépendraient du degré d'adaptation des individus, les récepteurs périphériques ayant un rôle plus important chez les sujets adaptés au chaud.

Ces expériences ont été reprises chez les animaux.

B- CAS DES ANIMAUX

Il est plus facile en effet d'expérimenter chez les animaux. L'influence des stimuli centraux et périphériques par chauffage soit de l'ambiance, soit de l'hypothalamus donne des résultats variables selon les espèces animales.

1) Chez le porc :

&

Les expériences de chauffage de l'hypothalamus dépendent de l'ambiance. Pour une température ambiante inférieure à la température de neutralité thermique (aux environs de 24°C) le chauffage de l'hypothalamus jusqu'à des valeurs pouvant atteindre 42°C ne modifie pas la fréquence respiratoire (7).

Si l'animal est placé dans une ambiance chaude de 30°C (au-dessous de la température de neutralité thermique) le chauffage de l'hypothalamus déclenche immédiatement la polypnée thermique.

Le refroidissement de l'hypothalamus n'entraîne pas des réactions de lutte contre le froid. Il est possible alors de conclure

que chez le porc peu protégé par le revêtement cutané les récepteurs périphériques sont prépondérants sur les stimuli centraux surtout les récepteurs périphériques sensibles au froid.

2) Cas des bovins

Même si l'ambiance est très basse (5°C) le chauffage de l'hypothalamus provoque immédiatement la polypnée thermique et déclenche la sudation. Ici les récepteurs centraux sont prépondérants.

X 3) Chez les ovins

Le chauffage du scrotum seul (116) déclenche la polypnée thermique ; il en résulte une chute de la température centrale ; or même si la température centrale baisse de 2°C la polypnée thermique persiste ; par contre, la dénervation du scrotum supprime le réflexe de la polypnée thermique.

On peut en déduire que les stimuli périphériques sont prépondérants.

Il faut rappeler que la tonte de l'animal qui va permettre de découvrir les récepteurs au froid sur tout le corps de l'animal supprime l'action du chauffage du scrotum en ce qui concerne la réfrigération de l'animal par polypnée thermique.

Ceci conduit à se demander comment fonctionnent les centres thermorégulateurs.

Chapitre IV - FONCTIONNEMENT DES CENTRES THERMOREGULATEURS

On pense à la conception de BENZINGER qui envisage que le fonctionnement du centre de la thermolyse dans l'hypothalamus antérieur et celui du centre de la thermogénèse (qui est localisé dans l'hypothalamus postérieur) est lié.

L'hypothalamus antérieur (A) :

- commande la thermolyse, mais inhibe le centre de la thermogénèse dans l'hypothalamus postérieur.
- Est sensible aux variations locales de la température (thermocentre et thermodétecteur) chez un animal en frisson, le réchauffement local de A ou son excitation inhibe le frisson.

L'hypothalamus postérieur (P)

- est peu sensible aux variations locales de la température
Chez un animal en frisson le chauffage de P en effet n'inhibe pas le frisson.
- Son action dépend :
 - . d'influx en provenance de thermorécepteurs cutanés et médullaires qui font relais au niveau de l'hypothalamus antérieur.
 - . de l'influence inhibitrice de A.

Une excitation froide d'origine cutanée entraîne une mise en jeu des réactions de thermogénèse mais cette réaction ne se produit

.../...

pas à tout coup, elle dépend de l'état des centres hypothalamiques, surtout de A. Si ce refroidissement cutané survient alors que la température de A est élevée il ne se produit aucune réaction de lutte contre le froid.

Cette théorie qui explique les faits expérimentaux chez l'homme ne permet pas de dire cependant pourquoi les influx périphériques ; chauffage du scrotum entraîne la polypnée thermique même si la température hypothalamique chute. Il existe donc des récepteurs périphériques au chaud qui agissent sur l'hypothalamus antérieur. Il est vrai que ces récepteurs au chaud ne sont pleinement actifs que si les récepteurs au froid situés sur tout le corps sont masqués par la toison par exemple.

Quoiqu'il en soit, les centres de thermolyse dans l'hypothalamus antérieur mis en jeu pour les stimuli périphériques et stimuli centraux entraînent des réactions de commande en vue de la thermorégulation.

Chapitre V- SYSTEME DE COMMANDE DES REACTIONS THERMOREGULATRICES

A partir des centres thermorégulateurs naissent des nerfs efférents se rendant aux différents effecteurs impliqués dans les mécanismes de thermorégulation.

Dans la polypnée thermique par exemple, ce sont les nerfs laryngés, les nerfs intercostaux, et ^{les nerfs} du diaphragme qui vont donc innerver les muscles striés respiratoires impliqués dans ce mécanisme.

.../...

Pour les réactions vasculaires la commande est transmise au système nerveux vasoconstricteur localisé dans la colonne inter-médiolatérale de la moelle. La diminution de ce tonus vasomoteur produit la vasodilatation observée lors de l'exposition au chaud.

Les glandes sudoripares eccrines sont innervées, on l'a vu par des efferents de nature physiologique parasympathique.

Les glandes apocrines ont une double innervation sympathique et parasympathique avec une nette prédominance pour le premier mais il existe des variations selon les espèces.

Chez le cheval par exemple, l'idée que la sudation était due à l'adrénaline circulant a prévalu pendant longtemps. EVANS et SMITH (29) démontrent que la surrénalectomie, ou même le simple curetage de la zone médullaire surrénalienne, n'empêche pas la sudation. Par contre l'énervation sympathique des glandes apocrines (101) supprime cette sudation.

Lors de sudation abondante chez toutes les espèces l'action de l'innervation efférente est renforcée par la libération locale des substances vasodilatatrices qui augmentent l'apport sanguin et augmentent le rendement de la sudation, c'est le cas de la bradykinine. En effet, l'activité des glandes sudoripares est accompagnée de libération de bradykinine mis en évidence par HILTON.

Ceci conduit à parler des substances chimiques qui interviennent au niveau du système nerveux central comme médiateur dans

.../...

les processus de lutte contre la chaleur dans les conditions normales et dont le dérèglement conduit à la fièvre.

Chapitre VI - ROLE DES NEUROTRANSMETTEURS

A- NEUROTRANSMETTEURS : PHYSIOPATHOLOGIE DE LA FIEVRE :

Le rôle des neurotransmetteurs dans la régulation de la température a été étudié de manière intensive ces dernières années. Les méthodes mises en oeuvre vont des perfusions de substances dans les ventricules cérébraux en vue d'atteindre l'hypothalamus sous-jacent (méthode peu précise) à la méthode très précise par ionto ou ionopherèse qui consiste en des micro-injections des substances au niveau des zones très localisées grâce à des micropipettes. Malgré ces précisions de manoeuvre, les résultats obtenus sont très variables voire contradictoires selon les espèces considérées.

FELDBERG et MYERS (31) ont inauguré une théorie de la régulation basée sur la libération de 5 hydroxytryptamine (5HT) et de noradrénaline. Après traitement par la noradrénaline ou l'adrénaline chez le chat la température rectale diminue pendant une heure ou deux, mais après injection de 5HT la température rectale augmente et demeure élevée pendant plus de 12 heures. Depuis les effets des transmetteurs chimiques ont été étudiés chez un grand nombre d'espèces mais malheureusement avec les résultats contradictoires.

Chez le chat, le chien, le singe la noradrénaline augmente la température et la 5HT la déprime tandis que chez le mouton et le

.../...

lapin les effets de ces médiateurs sont opposés.

Chez d'autres espèces par exemple le rat, les effets de la noradrénaline semble dépendre de la dose utilisée. Par contre, les différences de réponses obtenues chez le chat, le chien, le singe d'une part, le mouton et le lapin de l'autre, semblent être dues à des différences interspécifiques réelles.

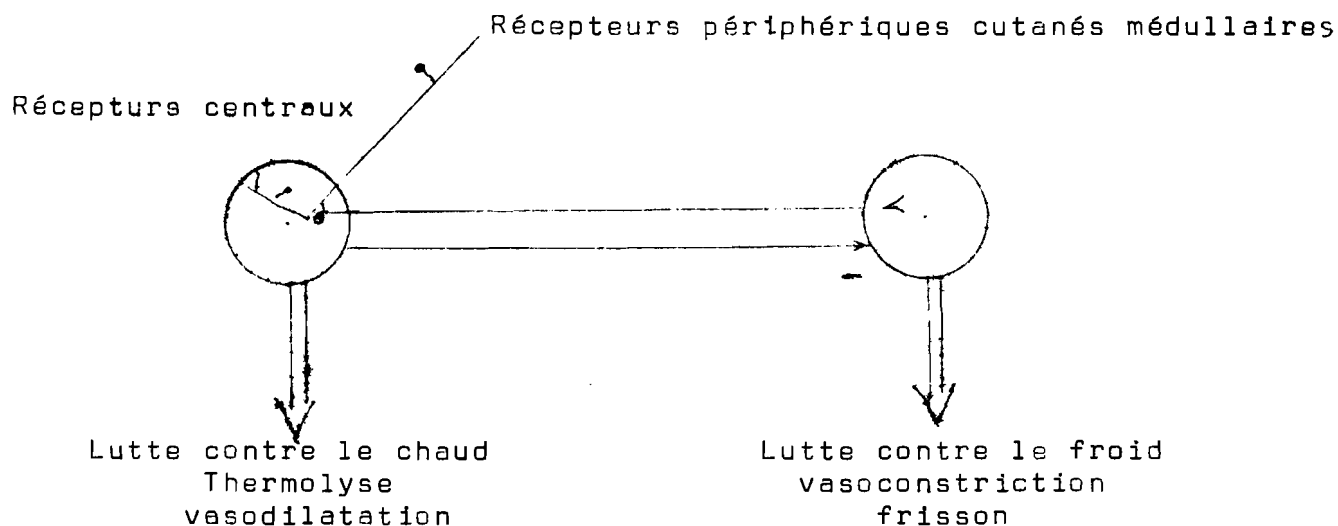
La température modifie également la réponse aux neuromédiateurs chez les bovins (17) et le chat. La noradrénaline détermine une chute de la température en ambiance froide alors qu'en ambiance chaude cette catécholomine n'exerce aucun effet ; probablement en raison de la mise en jeu des mécanismes de dissipation de la chaleur.

L'action de la température a été examinée chez le mouton, la chèvre et le lapin par BLIGH et collaborateurs. (16). Ces auteurs montrent qu'en ambiance chaude la noradrénaline réduit la polypnée thermique provoquant de ce fait une augmentation de la température centrale, alors qu'en ambiance froide la noradrénaline diminue le frisson thermique conduisant à une chute de la température corporelle. Ils en déduisent que la noradrénaline inhibe l'activité thermorégulatrice aussi bien en ambiance chaude qu'en ambiance froide.

Chez ces espèces le 5'HT favorise la dissipation de chaleur. Il augmente la polypnée thermique dans un environnement chaud, et réduit le frisson dans un environnement froid.

L'acetylcholine intervient également, mais les données de la littérature sont très complexes : il est toutefois plus couramment admis que tout au moins chez la chèvre et le mouton l'acetylcholine intervient dans les processus de thermogénèse. Ceci a été résumé par un modèle biologique qui explique le fonctionnement des centres thermorégulateurs (schéma n° 7).

Schéma n° 7



Ce modèle part des neurones hypothalamiques, les uns activés par la 5HT, les autres par l'acetylcholine.

Les récepteurs au chaud (récepteurs cutanés, spinaux ou hypothalamiques) convergent au niveau du neurone hypothalamique par une synapse serotonergique. Ces neurones activent alors deux interneurones dont l'un inhibe le frisson par une voie noradrénergique. Ainsi donc l'injection de 5HT dans le cerveau d'un animal luttant contre le chaud est peu efficace ; mais lorsque cette opération

.../...

est réalisée dans un environnement froid la polypnée peut se déclencher. La noradrénaline au contraire inhibe également le frisson dans un environnement froid, car ce médiateur est impliqué dans l'inhibition croisée des neurones sensibles au chaud et au froid. Ce modèle explique également les variations de tonus vasomoteurs.

Autres substances

Ces substances découlent des travaux récents de MILTON et collaborateurs (77) qui font jouer un rôle à la prostaglandine E_1 . Cette PGE_1 est un puissant stimulus de la thermogénèse donc de l'augmentation de la température lorsqu'il est injecté dans les ventricules cérébraux du chat et du lapin. Cette action est indépendante de la température ambiante et de l'espèce. Ces auteurs ont extrait des substances proches de la prostaglandine E du liquide de perfusion des ventricules cérébraux d'un chat en hyperthermie.

L'hypothalamus est très sensible à la PGE. Des doses extrêmement faibles suffisent pour obtenir la même fièvre qu'avec la 5HT (dose dix fois plus faible).

Tous ces faits, même s'ils sont incomplets permettent de se faire une idée des dérèglements éventuels de la température du corps ; ce qui débouche sur la physiopathologie de la fièvre.

B- PHYSIOPATHOLOGIE DE LA FIEVRE :

La fièvre pyrexie est le résultat d'une élévation de la

.../...

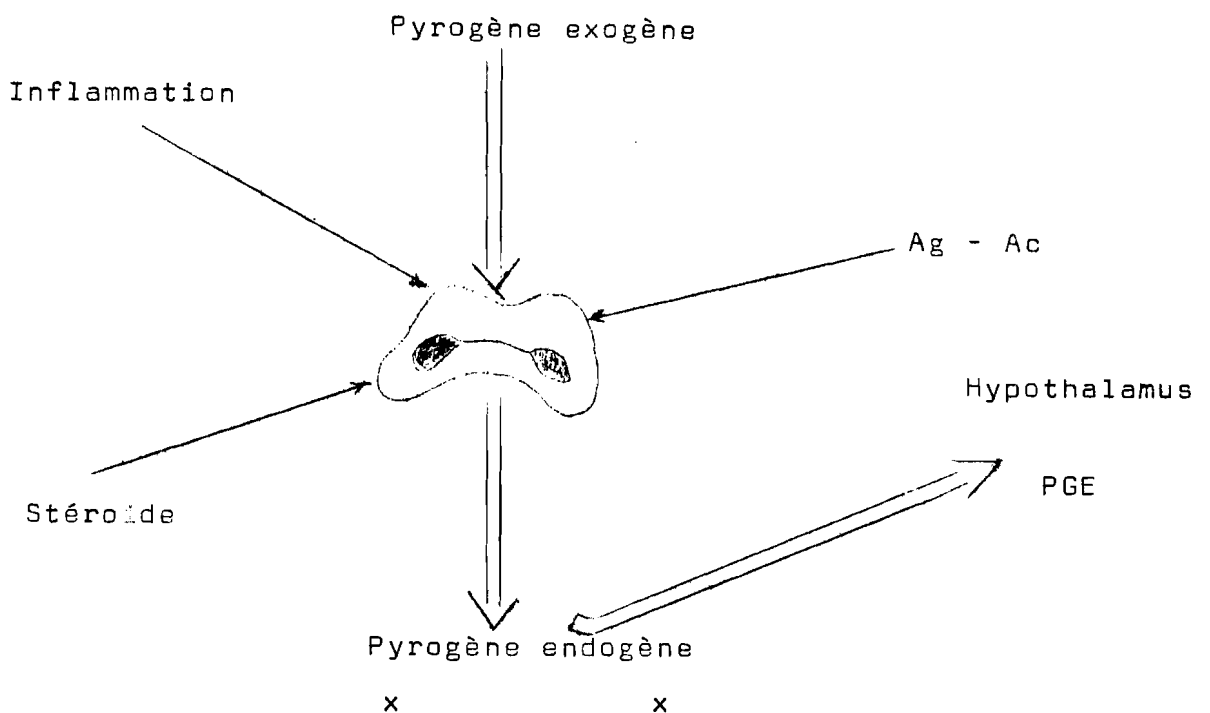
température centrale sous l'action d'agents variés appelés pyrogènes. Cette fièvre est-elle due à une faillite de la régulation thermique.

On peut répondre non à cette question. En effet la température ne monte pas indéfiniment, le cycle nycthéral persiste à un niveau, il est vrai, élevé. CRANSTON (25) utilise des animaux d'expérience sur lesquels il déclenche une hyperthermie, il compare la réaction vasculaire provoquée par une élévation de température par chauffage de l'hypothalamus chez le sujet normal et chez le sujet en hyperthermie. Il note la même réaction de vasodilatation correctrice. Enfin pour de nombreux auteurs la température hypothalamique de référence le "set point" se trouve tout simplement décalé vers le haut par l'action des pyrogènes. Il existe de nombreux pyrogènes qu'il serait fastidieux d'énumérer ici, contentons-nous de citer les bactéries, l'inflammation, les stéroïdes, la réaction antigène-anticorps et des endotoxines constituant le groupe des pyrogènes exogènes. Ces pyrogènes doivent subir une transformation préalable en pyrogène endogène leucocytaire. (schéma n° 7).

Ces pyrogènes andogènes agissent au niveau des centres hypothalamiques en perturbant la libération des médiateurs (acétycholine, noradrénaline) impliqués dans la production de chaleur. Et surtout par la libération de prostaglandine qui représente le dernier relai sur la voie entre pyrogène bactérien et les médiateurs de la thermo-

génése. C'est la raison pour laquelle l'aspirine qui est inhibiteur de PGE est un puissant antithermique.

Schéma n° 8



Au terme de cette partie, il apparaît que l'existence de centre thermorégulateurs est affirmés avec certitude grâce à la mise en oeuvre des méthodes de plus en plus précises. Ces centres thermorégulateurs sont mis en jeu par des messages en provenance de la périphérie, des enveloppes et aussi des récepteurs profonds situés dans le noyau. En effet la température des enveloppes étant aléatoire puisque c'est là que se fait la déperdition de chaleur il était donc normal que les centres nerveux trouvent en eux-mêmes les informations sur leur propre température. On retrouve là un des nombreux

.../...

exemples de boucle interne de contrôle, de système de double assurance. Tout est mis en oeuvre pour que les organes profonds et vitaux comme le cerveau, travaillent dans des conditions d'homéothermie stricte.

Les récepteurs centraux sont donc propondérants sur les récepteurs périphériques. Cependant, il convient de noter que les récepteurs périphériques peuvent prendre de l'importance dans certaines circonstances notamment chez les sujets adaptés, pouvant ainsi retarder la mise en jeu des mécanismes de lutte contre le chaleur ; retard pouvant aller dans certains cas jusqu'à rappeler les processus pathologiques de la fièvre. C'est cet aspect important de l'adaptation au climat chaud qui sera traité dans la dernière partie de ce travail.

Q U A T R I E M E P A R T I E

ADAPTATION

La vie animale est régie par les conditions de l'habitat. Chaque espèce a besoin pour se prospérer que celui-ci lui offre certaines particularités ayant trait à la température ambiante, au régime des pluies, à la qualité de la végétation et à la présence ou l'absence des points d'eau. En d'autres termes, la vie animale est intimement liée au climat et au milieu physique.

En Afrique Occidentale les zones climatiques s'étalent du nord au sud. Ce sont à partir du nord :

- la zone subsaharienne,
- la zone sahélienne,
- la zone soudanienne,
- la zone guinéenne.

Naturellement, cette division est schématique et l'on peut distinguer des climats intermédiaires et même des micro-climats.

La population animale est répartie suivant les zones climatiques :

.../...

Chapitre I LA REPARTITION DU CHEPTEL BOVIN, OVIN, CAPRIN,
CAMELIN SELON LES ZONES CLIMATIQUES EN AFRIQUE
OCCIDENTALE :

A.- LE CHEPTEL BOVIN :

Dans les zones tropicales d'Afrique, il existe deux types de bovins : les zébus (Bos indicus) et les taurins (Bos taurus).

L'aire de dispersion des zébus est celle des zones chaudes et sèches. Dans les zones moyennement chaudes et humides, le zébu fait place au taurin. Pratiquement les zébus se rencontrent dans les zones subsaharienne et une partie de la zone soudanienne.

Le zébu est très sensible aux trypanosomoses ce qui lui interdit de vivre dans les zones infestées de glossines ; par contre les taurins sont trypanotolérants. Ils vivent dans la portion sud de la zone soudanienne et dans la zone guinéenne. La ligne de démarcation entre les deux aires de dispersion passe environ par le 14e parallèle nord ().

B. - LE CHEPTEL OVIN ET CAPRIN :

Le cheptel ovin et caprin est très important en Afrique de l'Ouest. Il dépasse largement en nombre le cheptel bovin. C'est ainsi que pour près de 75 000 000 d'ovins et caprins on compte 26 000 000 de bovins (SEDES 1975 n°16).

.../...

1) Le cheptel ovin :

Le troupeau ovin d'Afrique Occidentale est composé de moutons essentiellement à poils et de moutons à laine.

Parmi les moutons à poils, on distingue deux grands types :

- le mouton du Sahel de grande taille. On rencontre ce type de mouton en Mauritanie, Mali, le Sahel au nord du 15e parallèle, au Tchad, dans la zone sahélienne et soudanienne habitées par les peuls ;
- le mouton Djalonké de petite taille. Cette race se rencontre au Sénégal, en Guinée, au Mali, au-dessous du 14e parallèle de latitude nord, en Côte d'Ivoire et au Bénin. Ce mouton qui vit dans les pays proches de la mer est le mouton des populations sédentaires par opposition au mouton du Sahel. Il supporte bien les climats chauds et humides.

Le mouton à laine du Macina vit le long du fleuve Niger, de Mopti jusqu'à Niamey. En 1972, on a estimé le nombre à un million de têtes ().

2) Le cheptel caprin :

est représenté par :

- les chèvres du Sahel,
- les chèvres Djalonké,
- les chèvres de Maradi.

.../...

2.1. - Les chèvres du Sahel :

Ce sont des animaux longilignes élevés en troupeau par les bergers nomades. Ce type de mouton se rencontre dans toute la zone sahélienne.

2.2. - Les chèvres Djalonké :

La répartition géographique est la même que celle du mouton Djalonké, c'est-à-dire, le Sénégal, la Guinée, le Sud du Mali, la Côte d'Ivoire, le Bénin, le Togo.

Le type varie sous l'influence du milieu, la taille et le poids **vont** en diminuant à mesure que l'on descend vers la Côte pour aboutir aux chèvres naines des lagunes.

2.3. - Les chèvres rousses de Maradi :

Le berceau de cette race se trouve à Maradi au Niger. On l'appelle aussi chèvre de Sokoto du nom de la province du Nigéria où on la rencontre. Elle vit essentiellement en zone sahélienne ; cette race craint beaucoup le froid et l'humidité.

C. - LE CHEPTEL CAMELIN :

L'élevage du dromadaire correspond en Afrique tropicale à une zone hydrologique où les rivières sont dépourvues d'eau toute l'année et aux zones de végétation sud saharienne et nord saharienne. Dans ces zones le dromadaire trouve des conditions d'existence, eaux et pâturages salés.

Compte tenu des difficultés à recenser un cheptel particulièrement mobile se déplaçant sur de longue distance, on a compté en 1973, 170 000 à 200 000 têtes en Afrique de l'Ouest.

+
+ +

Il ressort de cette étude, deux grandes zones de distribution des ruminants domestiques. La première couvre les zones sahélienne et sahélo-soudanienne, la deuxième, les zones soudanienne et guinéenne.

La première grande zone est caractérisée par un climat chaud et sec avec d'importantes amplitudes thermiques et des variations saisonnières très marquées. La pluviométrie est inférieure à un mètre par an. La végétation pauvre est surtout composée de graminées de petite taille. A ce type de climat correspond un élevage de type pastoral à base de zébus et de petits ruminants longilignes.

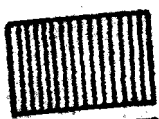
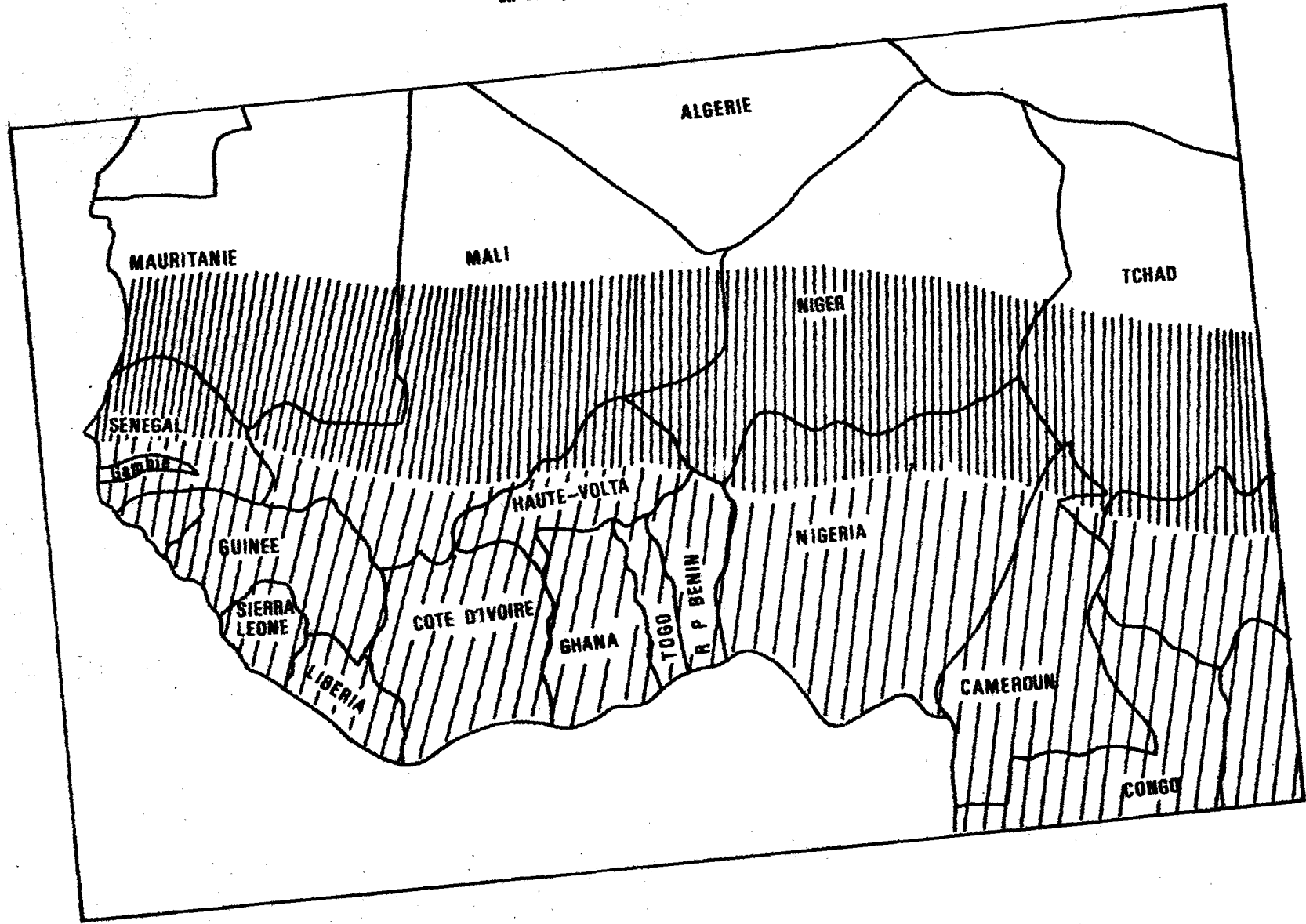
Le deuxième secteur est caractérisé par un climat chaud et humide. Les écarts thermiques diurnes ne sont pas très importants. Dans la zone guinéenne, les températures maximales des jours le plus chauds ne dépassent jamais 35°C . La pluviométrie est supérieure à un mètre par an, la végétation est luxuriante. On rencontre sous ce climat un élevage à base de taurins et leurs métis trypanotolérants ainsi que d'ovins et caprins de petit format.

Si l'on se réfère à la densité du cheptel on remarque que la population animale est inégalement répartie suivant les zones

.../...

Carte

La Densité du Chapel bovin ovin Caprin selon les zones Climatiques
en Afrique Occidentale



Forte densité animale
(zone Sahélienne)



Faible densité animale
(zone Soudanaise et Guinéenne)

climatiques. La zone sahélienne supporte près de 2/3 (83) du cheptel de l'Afrique Occidentale et de l'Afrique Centrale, c'est "la zone de l'élevage par excellence " .

Remarquons que le passage d'une zone à l'autre s'effectue par une lente transition permettant de trouver une zone intermédiaire peuplée de ruminants de petite et de grande taille mais en nombre réduit.

Contrairement à la végétation, cette densité animale diminue progressivement quand on quitte le Sahel vers le Sud (carte n° 1).

Les animaux possèdent des adaptations particulières qui leur permettent de lutter contre le chaud. La stratégie de cette lutte diffère selon les climats :

- climat chaud et humide,
- climat chaud et sec.

Chapitre II

ADAPTATION AU CLIMAT CHAUD ET HUMIDE :

Les animaux trouvent sous ce climat de l'eau et une alimentation (l'herbe) abondantes . La température environnante peu élevée est toujours inférieure à la température corporelle des animaux. Ceux-ci lorsqu'ils sont placés dans cette ambiance auront la possibilité d'utiliser la thermolyse directe. Ce mécanisme est d'ailleurs renforcé par de nombreuses adaptations qui permettent d'en augmenter l'efficacité.

.../...

I .- LA THERMOLYSE DIRECTE :

L'absence des phanères, la pigmentation de la peau, les appendices cutanés assurent une bonne emissivité, mais c'est surtout le comportement des animaux qui augmente l'efficacité de la thermolyse directe.

A. - ADAPTATIONS ANATOMIQUES :

L'absence de revêtement cutané, la peau noire des animaux favorisent l'emissivité puisque la faible intensité solaire et surtout la présence d'ombre permet aux animaux de s'abriter. On rencontre aussi des animaux à corps recouvert de poils ras.

1) Absence de revêtement cutané :

La présence des animaux à corps glabre sous ce climat est une adaptation spécifique au mécanisme de thermolyse directe. La température centrale des animaux étant supérieure à celle de l'ambiante, les pertes de chaleur par conduction, convection et rayonnement ne sont pas entravées. C'est le cas de l'éléphant. Le cas du buffle est exemplaire. Chez le jeune buffle les poils sont bruns et ont 2 à 3 cm de long couvrant complètement la peau, puis au fur et à mesure que l'animal grandit les poils deviennent de plus en plus séparés, ce qui fait que les poils adultes de 3 à 5 cm sont éparpillés, donc peu abondants. La thermolyse directe assure à la surface un refroidissement certain.

La peau noire des animaux, tel que l'éléphant, le buffle, le cob des roseaux, favorisent l'émission des rayonnements ; l'emissivité est voisine de l'unité (un corps noir parfait) à cause de la

.../...

présence d'ombre et du soleil peu ardent .

2) Présence de revêtement :

Les animaux à corps recouvert de poils ras sont le plus souvent de couleur sombre :

- les taurins (la race N'dama, la race des lagunes),
- le cephalophe,
- le gnou.

3) Les appendices cutanés :

Sont des formations anatomiques qui favorisent l'augmentation des pertes de chaleur par thermolyse directe. L'augmentation de ces pertes est due à la vasodilatation cutanée, comme ceci a été déjà souligné. Cette vasomotricité est plus forte dans les régions où le rapport surface/volume est très élevé, tels que les plis de peau le fanon des bovins. A ce propos les oreilles de l'éléphant jouent un très grand rôle dans ces pertes, les oreilles du lapin, la crête et les barbillons se comportent comme de véritables radiateurs.

B. - ADAPTATIONS COMPORTEMENTALES :

Les animaux, par leur comportement tendent à donner plus de force à la thermolyse directe, Le buffle et l'éléphant sont incapables de lutter contre le chaud s'ils ne se baignent pas.

L'éléphant utilise l'aspersion d'eau au moyen de sa trompe. Les grands herbivores sauvages recherchent les coins d'ombre pendant

.../...

les heures chaudes de la journée au bord de l'eau, les chasseurs le savent. Le buffle à partir de 16 heures quitte sa retraite diurne où il a passé les heures chaudes de la journée pour aller en broutant vers les points d'eau où il n'arrive qu'au crépuscule (heures fraîches) alors il boit et se baigne, reste 1 à 3 heures puis revient au pâturage. Vers une à deux heures du matin il se couche et dort jusqu'au lever du soleil. A ce moment il revient boire et se remet en route pour son refuge diurne qui lui offre une sécurité vis-à-vis de ces ennemis, mais aussi de la chaleur.

Sous ce climat, à cause de l'existence du couvert végétal abondant, les animaux ont souvent recours à la thermolyse directe. Ainsi pendant les heures chaudes de la journée, ils s'étalent à l'ombre ou dans des endroits humides pour renforcer les pertes de chaleur par conduction.

Outre la thermolyse directe, la thermolyse indirecte entre en jeu plus précocement pour assurer un bon refroidissement de la surface cutanée.

II. - THERMOLYSE INDIRECTE :

L'élévation de la température ambiante entraîne chez la plupart des animaux des régions humides, la sudation. Celle-ci se déclenche rapidement. Les bovidés des régions humides ont un grand nombre de glandes sudoripares. Findlay et Yang (34) ont estimé ce nombre à 1800 - 2000/cm² chez les taurins contre 800 - 1500/cm² chez le zébu.(63) . Cependant le nombre de glandes sudoripares du buffle est estimé à 180/cm² (34).

.../...

Chez l'homme ce nombre est de 80 - 200/cm² (34) avec un débit sudoral très élevé. Cette sudation abondante, est-il utile de le souligner, entraîne un bon refroidissement de la surface cutanée et assure la constance de la température centrale. La plupart des animaux de taille moyenne :

- Céphalophe : poids 18 - 20 kg,

- Cob des roseaux : poids 55 - 75 kg,

renforcent la sudation par une polypnée thermique. Ainsi le céphalophe qui a l'habitude de s'éloigner des points d'eau, même pendant les heures chaudes de la journée résiste à une température élevée par la polypnée thermique. Son rythme respiratoire normalement inférieur à 40/mn, passe à 150/mn lorsqu'il est exposé à une température ambiante de 40°C pendant 10 heures (112). Le Cob des roseaux supporte assez mal cette température élevée et son rythme respiratoire n'est que de 60/mn. Pour le Cob des roseaux l'adaptation à l'eau et l'ombre est totale. Ces animaux maintiennent par la thermolyse directe et l'évaporation d'eau une température centrale remarquablement constante de 38 à 38,5°C (112). Ce sont des homéothermes stricts.

Situation qui est différente sous le climat chaud et sec.

Chapitre III

ADAPTATION AU CLIMAT CHAUD ET SEC :

Le climat chaud et sec est caractérisé par :

- le manque d'eau,
- l'insolation forte qui augmente la charge calorique,
- des températures ambiantes qui, pendant les heures chaudes dépassent la température corporelle des animaux.

Les animaux les plus remarquables dans cette zone sont :

- les animaux domestiques :

- le chameau,
- le zébu,
- le mouton,
- la chèvre,
- le cheval,
- l'âne.

- les animaux sauvages :

- l'élan,
- l'oryx,
- la gazelle de grant,
- le Dik-Dik,
- le rat Kangourou,
- l'autruche.

I. - THERMOLYSE DIRECTE :

Sous ce climat, la thermolyse directe a un rôle réduit par rapport au climat chaud et humide. Du fait que l'organisme reçoit les radiations solaires incidentes, les mécanismes vont apparaître pour augmenter l'efficacité de la thermolyse directe. Les revêtements cutanés interviennent pour lutter contre l'insolation.

A.- ROLE DU PELAGE :

Le pelage forme une barrière étanche contre les rayons solaires. Ce rôle protecteur est assuré par la couleur et la texture du pelage.

.../...

1) Influence de la couleur du pelage :

Des expériences faites sur le bétail Boran blanc et noir exposé au soleil à une température ambiante de 35°C ont montré que le pouvoir de réflexion du bétail blanc est plus important que celui du bétail noir (40 % environ). La température superficielle du pelage noir est supérieure à celle du pelage blanc, ce qui entraîne une élévation de la température cutanée du bétail noir (100).

La détermination du pouvoir de réflexion par la couleur du pelage a été étudiée en Australie par MacFARLANE (68).

Bétail Brahma à pelage lisse et blanc.....	0,40 cal/cm ² /mn
Bétail Angus à pelage lisse et noir.....	0,10 cal/cm ² /mn
Bétail Short-horn à pelage lisse et noir.....	0,22 cal/cm ² /mn
Bétail Short-horn à pelage laineux rouge-brun.....	0,20 cal/cm ² /mn

Ces chiffres montrent que le pelage lisse blanc réfléchit quatre fois plus d'énergie que le pelage noir et deux fois plus que le pelage rouge ou brun.

Il faut signaler qu'une fraction des radiations solaires peut être absorbée uniquement par le poil et non par la peau. Cette fraction sera éliminée dans l'environnement sous forme des radiations infrarouges à grande longueur d'onde. Ainsi chez les moutons l'absorption des radiations solaires augmente la température de la surface de la toison de façon importante, mais la plus grande partie de l'énergie absorbée est dissipée dans l'environnement par convection et radiation.

D'une manière générale les poils légèrement colorés (blanc ou crème) ont un grand pouvoir de réflexion, beaucoup plus important que celui du rouge et surtout du noir. Ainsi un pelage lisse et blanc est associé à une moindre élévation de la température cutanée et rectale, comparativement à un pelage noir et irrégulier.

Ce pouvoir de protection du pelage est complété par une pigmentation de la peau (mélanine). Les granules de mélanine absorbent les rayons ultra-violet érythémateux. La peau non pigmentée est très sensible aux brûlures par le soleil et aux accidents de photosensibilisation. La combinaison idéale est un pelage blanc ou crème recouvrant une peau noire. Cette association est caractéristique de nombreuses races de bovins tropicaux : (zébu gobra).

2) Influence de la texture du pelage :

On distingue trois types de pelage en climat chaud :

- pelage serré,
- pelage non serré lâche,
- pelage court et lisse.

2.1. - Pelage serré : type mouton Mérinos :

Le rôle protecteur de ce pelage a été mis en évidence par BLAXTER (15) chez le mouton Mérinos.

Des mesures effectuées dans des conditions sévères d'ensoleillement ont montré que la toison du mouton pourrait recevoir des quantités de chaleur équivalent à 3000 kcal/m²/h soit 5 fois

.../...

sa production normale de la chaleur. Une partie de cette chaleur est perdue par réflexion à la surface de la toison. Si par exemple le pouvoir d'absorption de la toison est de 0,6, la chaleur réellement absorbée n'est plus que de 180 kcal/m²/h. La chaleur non perdue a tendance à traverser la toison ; mais la laine à fibre longue de cet animal forme un bouclier en emprisonnant une couche d'air (mauvais conducteur thermique). Cette masse d'air emprisonnée dans le feutrage de la laine forme une couche "sous-vestiale" d'air représentant réellement le milieu ambiant direct de l'animal car les fibres à laine et l'air emmagasiné forment un excellent isolant thermique qui protège le corps de l'échauffement par les rayons solaires. La température à la surface de la toison dans ces conditions atteint 85°C alors qu'au contact de la peau elle n'est que de 45° C. (la température environnante est de 40°C).

Le mouton Merinos résiste à la chaleur par :

- une bonne isolation thermique,
- une bonne réflexion de la plus grande quantité d'énergie calorique.

Ajoutons l'influence éventuelle du vent. Une température superficielle de la toison de 90°C passe en deux à trois minutes à 60°C avec un vent de 5m/s (69) .

En Afrique Occidentale ce type de pelage existe chez le mouton à laine de Macina. L'origine de cette race est discutée. Pour certains il dérive du Merinos qui aurait été introduit dans la région de Tombouctou, pour d'autres il est d'origine syrienne, et dérive du barbarin (83) .

.../...

2.2. - Pelage non serré lâche : type mouton Awassi :

Ce pelage est formé de laine ou de mélange poil-laine à fibre longue jusqu'à 15 cm couché parallèlement sur la peau. Les radiations solaires peuvent pénétrer ce pelage jusqu'à 2 , 3 cm. A 35°C au soleil une température de 93°C a été trouvée à 2cm en-dessous de la surface du pelage. Cette température diminue vers la peau, la température cutanée se trouve entre 43 et 46°C (45).

Le refroidissement de ce pelage peut se faire par réflexion, convection et radiation provenant de l'intérieur.

✕ Les moutons des zones tropicales ont presque toujours une toison formée de poils avec parfois de petite proportion de laine,. Ce pelage est un mauvais isolant thermique. Cependant, il a une bonne convection et une bonne réflexion.

En Afrique Occidentale, ce type peut être représenté par le mouton maure à poils longs qu'on trouve dans la zone sahélienne et soudanienne. Son pelage est le plus souvent uniformément noir, constitué de poils longs mesurant 8 à 10 cm et surtout abondants sur le dos et au niveau du flanc.

2.3. - Pelage court lisse soyeux :

Ce pelage non seulement réfléchit les radiations solaires mais permet une bonne convection à la surface cutanée, un tel pelage est bien développé chez l'antilope, les races de Bos indicus (zébu gobra, zébu maure, zébu peuhl du Sahel). Ce pelage se retrouve chez le mouton maure à poils ras et la chèvre rousse de Maradi .

De toutes les façons le pelage ne représente qu'une barrière entre l'animal et le milieu extérieur. Tous les types de pelage interviennent dans la lutte contre l'insolation, mais leur efficacité dans la thermolyse directe est différente.

B. - EFFICACITE DU PELAGE DANS LA THERMOLYSE DIRECTE :

Le pelage serré, type mouton Merinos est mauvais pour la thermolyse directe, car il entrave la dissipation de la chaleur. Par contre, le type Awassi favorise la thermolyse directe, de même que le pelage court lisse soyeux.

Le pelage recouvre généralement les parties supérieures et latérales du corps exposées aux rayons solaires, le rayonnement de chaleur se fait au niveau des parties d'éclive. Ces parties protégées des rayons solaires par l'ombre du corps sont dénudées :

- la face interne des cuisses,
- l'abdomen,
- les organes génitaux.

Chez le zébu le scrotum et le fanon vont donc jouer le rôle de véritable radiateur. Lorsque le gradient thermique est nul (température ambiante : température corporelle) les pertes de chaleur se font uniquement au niveau des parties d'éclive.

Dans cette zone où le rayonnement solaire direct est la plus importante source de chaleur, la régulation de la température interne s'effectue principalement par des ajustements posturaux. Les animaux au pâturage s'orientent de façon à opposer une petite partie de leur surface corporelle aux rayons solaires afin d'avoir le maximum d'ombre sous le corps. Quoiqu'il en soit on constate un phénomène général chez les animaux tropicaux : l'augmentation de la température corporelle au cours de la journée. .../...

II.- SACRIFICE DE L'HOMÉOTHERMIE :

A.- FLUCTUATIONS DE LA TEMPÉRATURE CORPORELLE :

Les observations les plus suivies de ces fluctuations ont été faites par SCHMIDT-NIELSEN (110) chez le chameau qui trouve des températures matinales de 34 à 35°C alors que les températures vespérales atteignent 40°C. L'écart maximum observé (34,5°C - 40,7°C) est de 6,2°C en 11 heures. Les températures sont celles de l'été lorsque l'animal est rationné sévèrement en eau.

Par contre, en hiver les écarts de température n'excèdent pas 2°C. Ces variations se retrouvent en été lorsque les animaux sont hydratés normalement.

L'âne dans les mêmes conditions de déshydratation a des températures extrêmes de 34,6 à 38,4°C avec un maximum de 39,3°C qu'il ne dépasse jamais, faute de quoi des troubles sévères se manifestent.

Depuis, une littérature abondante a fait le tour de la question chez les animaux des régions chaudes et sèches qu'ils soient sauvages ou domestiques.

chameau	34,2° - 40,7°C	(10)
âne	36,4° - 38,4°C	(73)
gazelle de Grant	39° - 46,5°C	(113)
oryx	38° - 46,5°C	(113)

.../...

élan	36,5° - 40,5°C (113)
zébu	38° - 39,8°C (113)
autruche	39,8° - 43,3°C (26)

Le maximum de température corporelle a atteint la valeur incroyable de (46,5°C) chez la gazelle de Grant et l'oryx.

Cette élévation de la température corporelle vise un certain nombre de résultats bénéfiques sur le plan de la thermorégulation. Ce sont ces résultats qui feront l'objet du paragraphe suivant.

B.- RESULTATS SUR LE PLAN THERMOREGULATEUR DES FLUCTUATIONS

DE LA TEMPERATURE CORPORELLE :

Cette élévation de la température corporelle entraîne :

- un stockage de calories,
- l'amélioration de la thermolyse directe,
- le retard de la mise en jeu de la thermolyse indirecte.

Stockage de calories :

Ce stockage de calories qui élève la température corporelle connaît deux modalités de réalisation qui diffèrent selon la taille des espèces adaptées à la chaleur.

.../...

Chez les animaux de petite taille, le stockage se fait d'emblée, rapidement, le maximum est atteint en moins d'une heure.

Ainsi chez la gazelle de Grant (qui pèse de 10 à 50 kg) la température corporelle atteint 42°C alors que la température ambiante n'est que de 40°C.

Le Dik-Dik, autre mammifère très adapté au sol rocailleux des zones désertiques fait de même. Ils peuvent ainsi stocker rapidement plusieurs dizaines de kilocalories.

Chez les animaux de grande taille, le rechauffement corporel, le stockage de calories s'étale sur plusieurs heures : 6 à 7 heures chez l'élan. Ce phénomène a été observé et décrit par : SCHMIDT-NIELSEN (113) chez le chameau. MALOY et collaborateurs (73) chez l'âne, SCHMIDT-NIELSEN et collaborateurs (110) chez l'âne.

Dans le cas du chameau, le stockage est évalué à 1500 kcal. dans une ambiance désertique, lorsque l'animal est abreuvé correctement.

Notons qu'il a une tendance dans ces conditions à se comporter comme un homéotherme strict.

Placé dans la même ambiance mais déshydraté, la quantité d'énergie stockée sous forme de chaleur est doublée passant de 1500 kcal à 3000 kcal. En outre, l'efficacité de ce stockage, sa

.../...

réalisation progressive, se trouve renforcée par un phénomène observé et décrit pour la première fois par SCHMIDT-NIELSEN. En effet à 6 heures du matin la peau du chameau est froide alors que la température rectale est plus élevée.

A partir de cette heure la peau se réchauffe rapidement alors que la température rectale subit une baisse. Il explique ce fait par une vasodilatation cutanée qui ramène au niveau de la peau le sang chaud du noyau central, sang chaud qui perdra ainsi des calories par thermolyse directe, refroidissement ainsi tout l'organisme au moment où la température ambiante commence son ascension.

Un mécanisme analogue pourrait expliquer la température centrale peu élevée de l'âne (34,6°C).

Comme ces variations de température se réalisent à un certain moment de la journée, elles peuvent passer inaperçues ; ce qui a fait que les valeurs de température centrale du chameau (34°C) décrit par SARGENT (105) aient pu être contestées.

Tout se passe comme si le chameau et de nombreuses autres espèces des zones désertiques se comportent comme des poïkilothermes autorisant des augmentations de température corporelle parallèlement à l'augmentation de la température ambiante ; augmentation pouvant être dans certains cas très importante.

Cette ascension thermique a pour but :

.../...

- de favoriser la thermolyse directe qui ne se serait pas produite dans cet environnement chaud du fait d'un gradient de température négatif. L'augmentation de la température corporelle chez la gazelle de Grand amenant sa température à 42°C à la température ambiante de 40°C, permet de positiver le gradient thermique. Ainsi donc l'efficacité de la thermolyse directe qui, faut-il le rappeler, est peu coûteuse en énergie sera restaurée.

- de retarder la mise en route de la thermolyse indirecte. Remarquons que le chameau qui utilise parcimonieusement son eau, émet juste la quantité de sueur nécessaire qui s'évapore entièrement sans ruisseler, de sorte que pendant longtemps on avait cru que cette espèce ne transpire pas.

Les études de TAYLOR (113) permettent de mettre ces faits en évidence.

C- ETUDES DU COMPORTEMENT THERMOREGULATEUR DE QUELQUES ANIMAUX
D'AFRIQUE DE L'EST :

Ces études concernent un certain nombre d'animaux. Les plus remarquables sont :

- gazelle de Thomson qui vit en zone humide
- gnou " "
- buffle de savane " "
- gazelle qui vit en zone aride
- oryx " "

.../...

- élan qui vit en zone aride
- zébu " "

on peut y ajouter le comportement presque identique de certains animaux de zone aride avant cette étude :

- chameau (108)
- âne (73)
- autruche (26)
- dik-dik (111 bis)

Ces espèces dissipent la chaleur selon les modalités connues.

- pour les animaux de petite taille il s'agit presque exclusivement de la polypnée thermique. C'est le cas de la gazelle de Grant, du dik-dik, voire de l'élan qui pèse déjà 120 - 160 kg.

L'autruche utilise également ce mode de dissipation.

- pour les animaux de grande taille, par la sudation :
- c'est le cas du chameau.

Il se détache une classe intermédiaire : c'est le cas de l'oryx et du zébu.

Tous ces animaux lorsqu'ils sont placés en ambiance chaude et abreuvés ad libitum maintiennent leur température centrale remarquablement constante au-dessous de la température ambiante de 40°C

ou même 50°C. Ainsi la fréquence respiratoire de la gazelle de Grant ou de THOMSON passe de 15/mn à 25°C à 200-300/mn pendant 11-12 heures d'exposition à 40°C ; celle de l'oryx et du gnou passe de 130 à 180/mn et celle du buffle varie entre 13 à 75/mn.

Quant à la sudation elle est déclenchée lorsque la température ambiante s'élève de 25 à 40°C. A partir de cette température son intensité s'accroît, passant :

- . chez l'oryx de 30 à 130 g/m²/h
- . le zébu de 80 à 200/m²/h
- . le buffle de savane de 50 à 250/m²/h

Les résultats confirment ceux trouvés auparavant par SCHMIDT-NIELSEN (108) chez le chameau.

CRAWFORD et SCHMIDT-NIELSEN (26) ont remarqué chez l'autruche que les pertes par évaporation pulmonaire passe de 0,4 g/mn à 4 g/mn lorsque la température ambiante s'élève de 25 à 45°C.

La situation est radicalement différente lorsque les animaux sont placés en ambiance chaude et déshydratés (simulation du désert).

- les animaux adaptés augmentent tous leur température corporelle, rapidement chez les animaux de petite taille, plus lentement chez les animaux de grande taille. La polypnée thermique et la sudation seront déclenchées beaucoup plus tardivement.

.../...

Ainsi les gazelles déshydratées exposées à une température ambiante de 40°C respirent à la fréquence à peine modifiée de 20/mn pendant 12 heures. Ce n'est qu'à partir de cette température extérieure élevée que ces animaux déclenchent les mécanismes de sudation et de polypnée thermique. Une exception cependant, le zébu déclenche ses moyens de lutte (sudation) à la température ambiante de 35°C.

De toute façon l'intensité de ces mécanismes à la température d'équilibre, n'atteint jamais les valeurs extrêmes observées lorsque les animaux sont abreuvés ad libitum.

- Les animaux non adaptés manifestent une ascension thermique beaucoup plus faible. Ils déclenchent plus précocement leurs mécanismes de sudation et de polypnée thermique. A 35°C, chez la gazelle Thomson qui d'ailleurs s'adapterait très bien aux températures élevées, mais seulement de 25°C chez le buffle de savane. Le buffle ne résiste pas longtemps, une température ambiante de 50°C est vite létale.

C'est donc par :

- une amélioration des qualités d'isolation thermique du pelage ;
- un stockage important de calories la journée qui se dissipent la nuit
- une économie d'eau par le déclenchement de la thermolyse indirecte que les animaux s'adaptent aux conditions difficiles de leur environnement. L'adaptation se fera

.../...

principalement par un certain nombre de mécanismes visant à maintenir le capital hydrique, à conserver l'eau de l'organisme.

III- MECANISMES DE CONSERVATION DE L'EAU CHEZ CERTAINS ANIMAUX

L'eau est le constituant le plus abondant de l'organisme animal. L'eau totale chez les mammifères représente environ 60 - 70 % du poids du corps, réparti en secteur hydrique :

- secteur extracellulaire : 20 % du poids du corps

lui-même subdivisé en :

. secteur plasmatique : 5 %

. secteur interstitiel : 15 %

Le secteur plasmatique est le plus mobile et c'est lui qui subit les perturbations initiales lors d'exposition à la chaleur

- secteur intracellulaire : 40 à 50 % du poids du corps
est peu mobile.

Il existe des échanges entre les divers compartiments principalement liés à la pression osmotique : toute variation de la pression osmotique dans un secteur retentira sur les autres secteurs.

Lors de la perte abondante d'eau comme cela se produit au cours de l'exposition au chaud par la sudation ou polypnée le liquide plasmatique devient hypertonique. Sa pression osmotique devient supé-

.../...

rieure à la pression osmotique du liquide interstitiel. Il y a appel d'eau du liquide interstitiel vers le plasma hypertonique. Le liquide interstitiel de ce fait deviendra hypertonique, il s'ensuit un passage d'eau du liquide intracellulaire vers le secteur interstitiel.

La perturbation initiale sera ainsi encaissée par tous les secteurs liquidiens afin d'en atténuer les effets. Mais ce mécanisme d'urgence ne suffit pas. Il faut que le déficit initial (les pertes) soit comblé par l'apparition de la soif.

En outre le volume urinaire sera réduit. Soif et sécrétion urinaire sont réglées par la pression osmotique des liquides extracellulaires agissant au niveau des centres hypothalamiques (hypothalamus antérieur et latéral) pour la soif, noyau préoptique pour la sécrétion urinaire (sécrétion d'hormone hypothalamique : ADH : antidiuretic hormone).

Ainsi il apparaît que l'équilibre hydrique se réalise à partir de deux postes ajustables :

- la soif d'une part pour les entrées,
- la sécrétion urinaire d'autre part pour les sorties.

Il convient de souligner que le contrôle de ces deux postes est situé dans l'hypothalamus antérieur tout comme les centres thermorégulateurs au chaud. On comprend qu'il puisse se produire des interactions et connections réciproques entre ces différentes structures hypothalamiques ainsi imbriquées. La résistance, l'adaptation

à la chaleur ou plus exactement à la sécheresse jouera sur ces deux postes importants de l'équilibre hydrique ; placé à l'entrée (résistance à la soif) et à la sortie (réduction de la sécrétion urinaire).

A- REDUCTION DES PERTES PAR L'URINE

L'urine est un produit de sécrétion du rein. Le rein est constitué par un grand nombre d'éléments identiques les uns aux autres ou néphrons. Ce néphron représente l'unité anatomique et fonctionnelle du rein. La formation de l'urine le long du tube urinaire procède de plusieurs mécanismes. On reconnaît classiquement :

- filtration glomérulaire qui permet d'obtenir un ultra-filtrat plasmatique. La filtration glomérulaire aboutit à la formation d'une urine glomérulaire dont la composition diffère peu du plasma c'est un ultra-filtrat-plasmatique.

- La réabsorption et la sécrétion.

La réabsorption tubulaire de soluté permet de réduire dans un premier temps cet ultra-filtrat-plasmatique de sorte qu'on obtient une urine tubulaire qui ne présente que 15 à 20 % du filtrat, le reste va être réabsorbé par un mécanisme de multiplication de concentration à contre courant d'une grande importance en ce qui concerne l'adaptation à la chaleur. Avant donc d'absorber les problèmes d'adaptation il est nécessaire de dire deux mots de cette physiologie rénale.

.../...

1) Filtration glomérulaire

Cette filtration glomérulaire peut être résumée par l'équation suivante :

$$P_f = P_s - (P_o + P_u)$$

P_f = pression efficace de filtration

P_s = pression hydrostatique intracapillaire

P_u = contre pression tubulaire

P_o = pression oncotique

La pression hydrostatique intracapillaire tend à chasser le liquide hors du capillaire.

La pression tubulaire qui est très importante tendant à s'opposer à la filtration.

La quantité d'urine filtrée chez l'homme est de 180 l par jour. Cette quantité filtrée va être réabsorbée de sorte que la sécrétion urinaire n'est que de 1,5 l/j.

Un des premiers moyens de réduction de la diurèse porte sur la réduction de la filtration glomérulaire.

. Chez le chameau la-filtration glomérulaire est de 55 - 65 ml/100 kg/mn (69).

× . Chez les bovins et ovins, elle est de 90 - 150 ml/100 kg/mn.

.../...

Lors d'hydropénie pendant 10 jours, la filtration glomérulaire du chameau chute à 15 ml/100 kg/mn (108) soit le quart de la filtration normale. Chez les bovins et ovins dans les mêmes conditions, elle chute au tiers de la valeur initiale.

Dans les conditions normales le chameau a déjà une faible filtration glomérulaire qui diminue davantage en cas de manque d'eau. Les variations individuelles existent en ce qui concerne la récupération de l'eau. Elle dépend du pouvoir de concentration du rein.

2) Réabsorption tubulaire :

Le long du tube contourné proximal, l'urine glomérulaire va subir de profonds remaniements. En effet la réabsorption des substances osmotiquement actifs (glucose, chlorure de sodium chlorure de potassium) par des processus vont aboutir à réabsorber de l'eau, environ 80 % de filtrat glomérulaire. De sorte que le reste (soit 20 % seulement) va se concentrer par un processus qui va être analysé. Le pouvoir de concentration du rein sur ces 20 % d'urine est très variable selon les espèces et selon le climat.

3) Pouvoir de concentration du rein

C'est à WIRZ et KUHN (117) que l'on doit d'avoir compris le rôle des structures médullaires du rein dans le mécanisme de la concentration de l'urine grâce à l'hypothèse qui postule que l'anse de Henle fonctionne comme un dispositif de multiplication à contre-courant. En effet si l'ensemble (anses de Henle) fonctionne comme un

.../...

système de multiplication à contre-courant on doit avoir le fait suivant :

- . le pouvoir de concentration du rein doit être d'autant plus grand que la boucle de Henle est plus longue, or cela se vérifie et c'est même une donnée de physiologie comparée qui a servi à étayer l'hypothèse de WIRZ.

Chez les animaux dont l'habitat est humique, le castor par exemple, l'osmolarité maximum de l'urine, lorsque l'animal est placé en hydropénie ne dépasse pas 600 mosm/l, soit deux fois celle du plasma.

Le rein de tels animaux ne comportent que de néphrons courts (néphrons corticaux).

Par contre, les régions profondes du rein sont plus épaisses et les anses de Henle beaucoup plus longues chez les animaux dont l'habitat est une zone aride et sèche.

Chez le merion ou le rat du désert genre psammomys ou chez le rat kangourou du genre Dipodomys, l'osmolarité atteint 6000 mosm/l soit 20 fois celle du plasma.

L'osmolarité urinaire maximum (9000 mosm/l) vient d'être signalée par Mac MILLEN et LEE (79) chez les rongeurs du désert d'Australie du genre Notomys et Leggodina, soit 30 fois l'osmolarité plasmatique.

Le système multiplicateur de concentration permet de maintenir d'un gradient osmotique axial progressivement croissant depuis la zone corticale du rein jusqu'à la zone médullaire voisine de la papille.

Le gradient est d'autant plus important que l'animal est adapté. L'urine du segment distal va donc plonger dans les canaux collecteurs traversant des zones d'osmorativité croissante, elle va donc perdre de l'eau progressivement par osmose à condition que la paroi des canaux collecteurs soit perméable aux substances dissoutes.

Cette perméabilité est réglable et est sous la dépendance de l'hormone anti-diurétique ADH. En effet, lors de surcharge aqueuse en l'absence d'ADH, les canaux sont perméables et l'urine va s'écouler à l'extérieur en abondance créant un état de diurèse.

Lors d'hydropénie, comme cela se produit dans l'exposition au chaud la perméabilité est maximum et l'urine peut se concentrer. Ainsi ce pouvoir de concentration est plus élevé chez le mouton que chez le boeuf (70).

Le rein du mouton a un potentiel de concentration qui représente 2 à 3 fois ce qu'il utilise dans les conditions normales. La concentration urinaire d'un mouton hydraté est de 1200 mosm/l comparé à 3800 mosm/l lorsqu'il est privé d'eau pendant 6 à 8 jours (69).

.../...

La concentration urinaire du chameau en restriction d'eau dans le désert est de 3100 mosm/l. (69). Les bovins dépendant plus d'eau exogène, ils n'ont pas un tel pouvoir de concentration urinaire, même privés d'eau l'urine atteint rarement une concentration de 2500 mosm/l. Leur concentration urinaire dans les conditions normales est basse 1500 mosm/l (70).

- Le deuxième moyen de réduction de la diurèse concerne la concentration de l'urine, l'élimination de soluté sous un faible volume.

Ce pouvoir de concentration est lié d'une part, à la longueur des anses de Henle, d'autre part, à la sécrétion d'ADH. Certaines espèces adaptées secrètent beaucoup d'ADH dans les conditions basales. Ainsi chez le rat du désert la sécrétion d'ADH basale est 10 fois plus élevée que celle du rat de laboratoire placé en hydropénie depuis 7 jours.

La sensibilité du rein à l'ADH diffère selon les espèces. Ce fait apparaîtra plus clairement lorsque seront étudiés les mécanismes de la réhydratation.

B- RESISTANCE A LA DESHYDRATATION

Les troupeaux conduits dans un pâturage sans eau, subissent une déshydratation progressive qui les conduit fatalement à la mort. La survie des animaux découle essentiellement de leur résistance à la déshydratation : limiter au maximum des pertes d'eau. On apprécie cette résistance à la déshydratation par la perte de poids

.../...

corporel de l'animal. Les animaux qui en perdent peu dans un temps relativement long sont plus résistants que ceux qui en perdent beaucoup et plus rapidement.

1) La perte de poids :

Les observations faites par Mac FARLANE (68) sur le chameau, le mouton, le boeuf, ont montré que la perte de poids est variable suivant les espèces.

Dès le premier jour de privation d'eau les bovins perdent 10 % de leurs poids, les moutons 8 %, les chameaux 4 %. Cette perte de poids s'atténue dans les jours suivants. Les bovins et les ovins arrêtent de s'alimenter le deuxième ou le troisième jour alors que les chameaux continuent à manger jusqu'au 4 - 5e jour (tableau n° 1).

En outre Mac FARLANE et collaborateurs (67) ont mesuré le temps nécessaire pour une perte de poids de 20 % à la suite de l'arrêt de l'abreuvement en fonction de la température extérieure.

Une perte de poids de 20 % s'observe en :

- . 7 à 10 jours chez le chameau
- . 4 à 5 jours chez le mouton
- . 2 à 3 jours chez le boeuf

lorsque la température maximale diurne dépasse 40°C.

Les trois espèces n'ont manifesté aucun trouble. La mort à la suite d'une perte de poids de 28 à 32 % se produit en :

.../...

- . 15 jours chez le chameau
- . 7 jours chez le mouton
- . 4 jours chez le boeuf

En ce qui concerne le potentiel de survie, le mouton adapté, aux zones arides est intermédiaires entre le boeuf (qui perd rapidement son poids) et le chameau.

Pour DILL (27) et SCHMIDT-NIELSEN (105) l'âne peut perdre 30 % de son poids sans aucun trouble, comparé à 20 - 25 % pour le chameau.

Cette déshydratation a des répercussions sur les secteurs hydriques surtout sur le secteur extracellulaire (tableau n° 1).

Le mouton perd 8 % d'eau plasmatique en 2 - 3 jours.

Le boeuf : 10 % en 2 à 3 jours.

Le chameau : 4,5 % en 4 à 5 jours.

Si l'on compare le chameau au boeuf dans le même environnement, le chameau perd en 4 à 5 jours presque la moitié (eau plasmatique) de ce que perd le boeuf en 2 - 3 jours.

Les chameaux ont des parois capillaires épaisses (110) qui maintiennent une concentration d'albumine élevée dans le plasma, du fait de la pression oncotique des protéines qui empêche l'eau de diffuser vers les espaces interstitiels.

Du fait des pertes d'eau, la concentration du sodium plasmatique se trouve augmentée. (tableau n° 1).

Chez ces animaux ainsi déshydratés la récupération se fera selon la résistance.

.../...

TABLEAU N° 1 -

EXPERIENCE D'ARRET D'INGESTION D'EAU EN SAISON CHAUDE -

(températures diurnes atteignant 40° et diminuant à 25° la nuit)

	<u>Chameau</u>	<u>Mouton</u> <u>(Mérinos)</u>	<u>Bovin</u> <u>(shorthorn)</u>
Arrêt spontané de la consommation alimentaire.....	4è-5è j.	2è-3è j.	2è-3è j.
Survie.....(j.)	12 - 15	6 - 8	3 - 4
Pertes de poids (p. 100)			
le 1er jour.....	4	8	10
moyenne.....	2	4,5	7
Pertes d'eau en p. 100 de la perte de poids.....	60	72	84
Pertes d'eau du plasma p. 100.....	4,5	8	10
Débit urinaire (ml/min.) initial.....	4 - 5	2	30
1er jour de déshydratation.....	2		
3ème jour.....	1 - 2	1	5
6ème jour.....	1 - 2	0,2 - 0,4	
Concentration maximale de l'urine (m. os/l.).....	3800	3100	2600
Déshydratation maximale des fécès (p. 100 d'eau dans les fécès).....	38-40 (5è J.)	45 (6è j.)	60 (3è j.)
Concentration maximale du Na plasmatique (mEq/l.).....	202	185	170

Source (1)

2) - La réhydratation :

Lorsque l'abreuvement est de nouveau possible, un ruminant qui a perdu 25 % de son poids va boire régulièrement pendant 5 à 8 minutes (68). Au cours de cette période le mouton consomme 6 à 8 l d'eau, le boeuf 40 à 50 l, le chameau 80 à 90 l.

Remarquons que l'âne qui a perdu 30 % de son poids consomme 20,5 litres en 2 à 3 minutes.(27)

Le chameau a donc une grande possibilité de boire en une fois une quantité d'eau correspondant à 30 % de son poids.

Pendant la première période qui dure 10 à 15 minutes les bovins récupèrent 84 % du poids perdu, les moutons récupèrent 70 % et les chameaux 59 %.

La récupération totale demande deux à trois jours. Chez ces animaux ainsi hydratés les osmorécepteurs (situés au niveau de l'oreille droite) envoient des informations à l'hypothalamus antérieur qui inhibe la sécrétion d'ADH, ce qui va créer un état de diurèse. Le temps de latence de cette diurèse dépend de la sensibilité du rein à l'ADH.

- Sensibilité du rein à l'ADH (ou Vasopressine) :

La dose minimale pour abaisser la diurèse est différente chez les diverses espèces. Elle est de $3\mu\text{u/kg}$ pour le mouton et $30\mu\text{u/kg}$ pour le boeuf. (13). Donc le mouton est 10 fois plus sensible à la vasopres-

L'injection intraveineuse de $2,5\mu\text{u}/\text{kg}$ de vasopressine au chameau en diurèse forte (5 ml/mn) abaisse celle-ci à 3 ml/mn. (70). Le mouton pour la même réponse réclame deux fois plus de vasopressine.

X Chez les ruminants exposés dans un environnement chaud et privé d'eau, la concentration de vasopressine plasmatique peut atteindre $20-100\mu\text{u}/\text{ml}$. (11). Ces concentrations sont suffisantes pour réduire l'élimination d'eau par le rein. Des concentrations plus basses de vasopressine pourraient réduire l'élimination de tout surplus d'eau ingérée.

L'absorption de l'eau chez des animaux qui ont perdu 20 % de leur poids par déshydratation peut être suivie à l'eau tritiée

Chez les bovins, en 4 heures le plasma est dilué et la diurèse aqueuse débute après cette heure.

- Chez les moutons l'eau passe lentement dans le plasma et la diurèse ne commence pas avant 24 heures.

On retrouve le même temps de latence chez le chameau, 18 à 24 heures peuvent passer avant que l'eau ingérée ne se mélange au liquide de l'organisme, et même la diurèse ne s'accroît pas avant l'ingestion d'aliment.

Cette expérience montre que le chameau et le mouton qui sont plus sensibles à l'ADH retiennent cette charge hydrique sans diurèse X au cours des 24 heures. C'est ainsi que pendant les périodes chaudes de la journée, le mouton peut ingérer une quantité d'eau correspondant à 5 % de son poids. Il retient cette eau pendant la journée et la diurèse se fera qu'en fin de la journée où la température est basse.

.../...

Le chameau a aussi cette possibilité. Ce fait est utilisé par les chameliers qui avant une marche dans le désert sans eau, font ingérer de force une quantité d'eau par l'intermédiaire d'une corne de boeuf. Le chameau retient cette surcharge hydrique, alors que si le bovin (moins sensible à la vasopressine) ingère une quantité d'eau correspondant à 5 % de son poids, la polypnée débute en quelques heures et l'eau est perdue. Donc le chameau et le mouton maintiennent (économisent plus longtemps l'eau ingérée que le bovin.

Cette économie d'eau peut être appréciée par l'étude du flux aqueux qui traverse l'organisme dans l'unité de temps (Water turn over)

C - RENOUVELLEMENT DE L'EAU DANS L'ORGANISME : "Turn over"

Le turn over est la quantité d'eau transitant dans l'organisme dans l'unité de temps. Elle s'exprime souvent par le demi temps mis par l'organisme pour éliminer le marqueur. Le facteur principal de ce renouvellement de l'eau est évidemment l'intensité de la perte hydrique. Les zébus et croisements avec le bétail européen exigent moins d'eau dans un même environnement chaud que les races européennes.

Le bétail européen et le bufle ont le turn over le plus rapide. Des observations comparables ont été faites chez les moutons. Les moutons européens utilisent plus d'eau que les races Doper (croisement entre Dorset-horn et le mouton Ogaden).

Les chèvres utilisent moins d'eau que les moutons (mouton Ogade placés dans le même environnement. (Tableau n°2, les chiffres sont rapportés en 24 heures).

TABLEAU N° 2 -

"WATER TURNOVER" chez les Ruminants en régions tropicales
et subtropicales -

	Latitude	T _{re} max. de l'air	Water turnover	
			ml/kg/24 h.	ml/kg/24 h.
Moutons				
Mérinos.....	28°	42°	98	200
Mérinos.....	21°	43°	125	235
Dorper)			91	177
Merinos (2° (1)		35°	95	182
Karakul)			114	210
Chèvres)			96	185
Chameaux (3° (2)		37°	61	188
Mouton Ogaden)			107	197
Bétail Boran (135	347
Banteng)			162	405
Buffle (24° (3)		40°	196	484
Shorthorn)			220	612
Cheval (140	410

(1) - animaux se trouvant dans un pâturage à 1 200 m d'altitude au Kenya.

(2) - troupeaux somaliens vivant dans une région semi-désertique du nord du Kenya.

(3) - troupeaux dans une région semi-désertique de l'Australie centrale.

Source (1)

Certains animaux adaptés au chaud possèdent des réserves d'eau pour affronter les déshydratation.

D - RESERVES D'EAU :

X La réserve d'eau dans le rumen réseau représente environ 15 % du poids chez les bovins, ovins et camelins. Mais la quantité d'eau physiologiquement disponible est faible car la résorption de cette eau entraîne rapidement une dessiccation du contenu des réservoirs incompatibles avec leur fonctionnement normal. C'est seulement dans le cas des Camelidés que la question d'une réserve gastrique d'eau a été soulevée.(33). L'eau des cellules aquifères n'est pas assez suffisante pour rehydrater l'animal, elle sert plutôt à diluer, à mouiller le contenu du rumen.

Les animaux ont recours à l'eau métabolique. Cette eau provient des substances alimentaires plus particulièrement les lipides, les protéides, les glucides.

La dégradation	de 100 g de lipide	fournit	107 g d'eau
"	" 100 g de protéide	"	55 "
"	" 100 g de glucide	"	40 "

Cette eau métabolique serait utilisée lors de long parcours. Au cours de ce parcours les animaux utilisent l'énergie fournie surtout par les lipides (graisses). Ceci permet de comprendre l'utilité des réserves qui sont :

- bosse de zébu
- bosse du dromadaire
- tissu adipeux de la croupe du mouton Ogaden

L'eau est au centre de la lutte contre le chaud, de sa disponibilité dépend la stricte homéothermie des animaux. Le métabolisme de l'eau revêt des aspects particuliers qu'il était bon de souligner. Il est un autre métabolisme pouvant être affecté par l'exposition au chaud ; c'est le métabolisme énergétique. En effet, nous avons vu que la lutte contre le chaud pouvait faire appel à deux stratégies :

- soit une augmentation de la thermolyse plus importante qui a occupé une grande partie de ce travail ;
- soit une diminution de chaleur.

Chapitre IV -

DIMINUTION DE LA PRODUCTION DE CHALEUR

Plusieurs auteurs (GELIND, GIAJA) ont constaté que lorsque l'organisme lutte contre le chaud, tant que n'apparaît pas l'hyperthermie, le métabolisme en dépit du coût de la thermolyse tombe au-dessous du métabolisme de base. D'après GIAJA (42). Cette baisse de la thermogénèse serait importante chez les oiseaux (de l'ordre de 30 %). Il est aussi du fait qu'en zone chaude, la diminution de la consommation d'aliment l'apport d'énergie par conséquent se trouve fortement réduit.

D'après MANSFIELD (75) le sérum d'un chien soumis à la chaleur contient des substances capables de réduire le catabolisme énergétique d'un autre chien auquel il est transfusé. Ces substances n'apparaissent pas chez les animaux sans thyroïde ou à thyroïde éternée. Ces facteurs se comporteraient comme des antagonistes des hormones thyroïdiennes et pourraient agir sur des organes isolés. MANSFIELD émet l'hypothèse de l'existence de thermothy.rines.

.../...

- Thermothyrine A serait secrétée seulement sous l'influence d'un réchauffement artificiel ; son taux ne présente pas de variations saisonnières.

- Thermothyrine B qui serait secrétée seulement en été, indépendamment de la température extérieure.

Ces phénomènes sont discutés, ils pourraient être attribués à des caroténoïdes. Les principes isolés par MANSFIELD ont une composition qui les rapprochent de celle de la vitamine A (dérivés hydrogènes de la vitamine A). VISSHER (28) a montré que la vitamine A est susceptible de contrecarrer l'action calorifique de l'adrénaline.

Ces expériences, ces hypothèses si elles sont discutées ont le mérite de soulever le problème métabolique énergétique aux interventions humorales et hormonales.

Ces expériences ont été reprises par les auteurs modernes qui distinguent deux stades :

- exposition au chaud de courte durée,
- exposition au chaud de longue durée.

A - EXPOSITION A COURTE DUREE (INFÉRIEURE A 7 HEURES) :

Au cours de cette période la production thermique augmente. Les expériences de KIBLER (62) sur les génisses exposées à une température allant de 20 à 44°C pendant 5 heures ont montré une augmentation de la consommation d'oxygène d'environ 20 %.

.../...

Dans ces conditions la production calorique augmente en fonction de la température extérieure. Cette stimulation résulte de plusieurs phénomènes.

- 1) - La mise en jeu du syndrome d'adaptation avec l'intervention de l'hypophyse antérieure et la surrénale.

Il faut noter que les glandes endocrines par leurs hormones sont les principaux facteurs de la régulation des trois grands matériels du métabolisme de l'organisme qui sont celui des glucides, des lipides et des protides. Les expériences sur les bovins ont montré une augmentation rapide du S.T.H. (Somato-Trophin-Hormone ou Hormone Samatrotrope) plasmique en 60 mn dans une ambiance de 18 à 39°C (45)

S.T.H est une hormone qui agit sur les lipides (lypolyse des acides gras).

Le cortisol une hormone hyperglycemiante (néoglycogénèse) et catabolisante.

- 2) - L'inertie de la régulation de la sécrétion thyroïdienne

Cette inertie est très élevée chez les bovins non adaptés pendant quelques heures. Selon YOUSEF et collaborateurs la diminution de la sécrétion thyroïdienne ne se manifeste chez la vache qu'au bout de la 60e heure d'exposition au chaud. Mais des facteurs de variation peuvent modifier cette augmentation de la thermogénèse.

.../...

3) - Influence de l'alimentation :

Les travaux de ROGERSON (121) sur le taureau recevant 3 kg de fourrage par jour ont montré que lorsque l'ambiance passe de 20 à 40°C qu'il n'y a pas d'augmentation de la thermogénèse, mais lorsque la ration passe de 3 à 6 kg par jour dans les mêmes conditions, la production de chaleur augmente de 40 %. Cette augmentation de la production de chaleur est due à la difficulté de l'élimination de l'extrachaleur.

B - EXPOSITION DE LONGUE DUREE :

Au cours d'une longue exposition au chaud la production de chaleur diminue. Ce phénomène paraît général chez les bovins, mais la température à partir de laquelle le phénomène se manifeste est variable selon la race et l'âge. Dans ces conditions de nombreux auteurs ont constaté chez les bovins une diminution de l'activité thyroïdienne. JOHNSON et KIBLER (61) estiment que lorsque les conditions d'environnement entraînent une augmentation de la température rectale d'au moins 0,6°C chez les bovins, il se produit une diminution de l'activité de la thyroïde, simultanément on note :

- une diminution de la Consommation alimentaire
- une diminution du poids corporel
- une diminution de la production de chaleur.

Il faut toutefois signaler les variations d'origine génétiques dans l'activité thyroïdienne. L'activité de la thyroïde normale est plus élevée chez les bovins des pays tempérés (HERFORD) que chez le zébu BRAHMA. Elle est deux fois plus élevée chez le bétail JERSEY que chez le bétail HOLSTEIN ou BROWN SWISS. Elle est plus élevée chez les laitières que chez les races à viande (62).

Ces variations de l'activité thyroïdienne s'inscrivent dans le cadre des modifications liées à l'adaptation. Quelque soit l'origine de cette adaptation on trouve toujours le même phénomène : la diminution de la production de chaleur. Chez le bétail européen (SHORT-HORN) et le bétail BRAHMA indien exposés à la même température et recevant la même alimentation, les mesures de KIBLER (62) ont montré que le métabolisme du bétail Brahma est inférieur de 20 %.

1) - Influence de la chaleur sur la consommation alimentaire :

Plusieurs auteurs ont montré que l'exposition au chaud de longue durée diminue la consommation alimentaire. Chez les bovins elle est variable selon les races. Le bétail européen diminue plus vite et arrête plus tôt la consommation que les animaux adaptés. La consommation alimentaire commence à diminuer à partir de : (115)

24 - 26°C	dhez	le bétail	Holstein
26 - 29°C	"	"	Jersey
29°C	"	"	Swiss
32 - 35°C	"	"	Brahma

.../...

A une température ambiante de 32°C la consommation alimentaire du bétail Holstein diminue de 20 %. A 40°C elle est complètement inhibée chez le bétail Holstein et Jersey, alors que l'appétit est maintenu chez le zébu.

Ces observations seraient une confirmation de BROBECK sur la régulation de la prise de nourriture qui sous sa forme simpliste dit que "les animaux mangent pour rester chaud et cesse de manger pour éviter l'hyperthermie".

Selon BRODY et COLL (18) la température du rumen pourrait en atmosphère chaude, limiter la consommation alimentaire (elle peut dépasser la température rectale de 2,2°C).

Pour VISSAC (115) cette différence de comportement entre taureaux et les zébus s'explique par le décalage des points de départ de la thermolyse dans les deux espèces : 16°C - 26°C respectivement.

2) - Influence de la composition de la ration :

Dans les zones arides une ration pauvre en cellulose est bénéfique pour les ruminants.

SCOTT et MODY (45) en Arizona ont fait la comparaison de deux rations (apportant la même quantité d'énergie nette), l'une pauvre en cellulose, l'autre riche en cellulose.

Avec la ration pauvre en cellulose ils notent :

- une diminution de la température corporelle de 0,3°C

.../...

- une diminution de la fréquence respiratoire de 14/mn
- une augmentation de la production laitière de 1kg/j

La ration pauvre entraîne surtout une augmentation de l'acide acétique qui a un A.D.S. élevé (cette ration élève la température corporelle).

Toutes les rations des animaux adaptés (zébus) au climat chaud et sec sont pauvres en cellulose. Ce qui est en faveur de la baisse de la température corporelle.

Les ruminants peuvent récupérer des protéines à partir de l'urée

C - UTILISATION DE L'UREE CHEZ LES RUMINANTS :

L'utilisation par les microorganismes du rumen, aux fins d'une synthèse protéique microbienne, de formes dégradées d'azote et en particulier d'azote ammoniacal est connue. En effet les protéines d'origine alimentaire sont dégradées par les microorganismes. Cette action dégradatrice conduit à la libération des acides aminés, qui font l'objet d'une désamination active d'où formation d'ammoniaque. Arrivée dans le foie l'ammoniaque disparaît et est transformée en urée. ANNISON et collaborateurs (5) constatent la richesse relative en ammoniaque de la veine porte et l'absence presque totale de l'ammoniaque dans la circulation générale et tout laisse penser qu'il est transformé en urée.

Il existe en effet une étroite corrélation entre la teneur de l'ammoniaque du rumen et celle de l'urée dans le sang tant chez le mou-

.../...

ton (109) que chez le boeuf (109). A partir du sang une partie de l'urée sera éliminée par l'urine et l'autre par la salive, l'animal récupère ainsi l'urée par la salive.

L'urée sera utilisée par les microorganismes pour la synthèse protéique. LFKEIT et BECKER (66) ont signalé que l'urée ajoutée à la ration disparaît rapidement dans le rumen tandis qu'augmente la teneur en azote ammoniacal. A la faveur d'une étude portant sur le métabolisme de l'eau SCHMIDT-NIELSON et collaborateurs (109) remarquèrent que l'excrétion de l'urée devenait très basse chez le chameau en croissance lorsqu'il reçoit un régime pauvre en protéine. L'urée administrée par voie intraveineuse pendant cette période n'est pas excrétée et se trouve retenue dans l'organisme. Ils déduisent d'après les mesures de filtration glomérulaire et de clearance de l'urée que 40 % de l'urée filtrée est excrétée par l'urine chez l'animal soumis à un régime convenable en azote. Mais cette proportion n'atteint que 1 à 2 p. 100 dans le cas de régime hypoprotéique.

✕ Ainsi donc dans les zones arides (où les fourrages sont pauvres les ruminants récupèrent les protéines par retention de l'urée (Recyclage de l'urée).

✕ En conclusion les animaux possèdent plusieurs mécanismes d'adaptation.
- Stockage des graisses.

Ce stockage a l'avantage de concentrer une quantité importante d'énergie qui sera utilisée pour les longs parcours, les périodes de disette.

Le chameau et le mouton peuvent accumuler plus de 30 % de leur poids en période favorable.

.../...

Cette réserve de graisse est une source importante d'eau métabolique : réserve d'eau.

_ Récupération des protéines par rétention d'urée (Recyclage de l'urée).

- C O N C L U S I O N -

:--:--:--:--:

Au terme de cette étude un fait mérite d'être mentionné ; c'est la notion même de l'homeothermie qui est mise en question.

En effet, lorsque l'organisme est placé dans les conditions telles que l'homéostasie de sa température demande un surcroît d'énergie, il aura une certaine tendance à sacrifier le maintien de cette température corporelle ; ceci s'observe aussi bien chez les hibernants des régions froides que chez les animaux adaptés au climat chaud.

La distinction entre poïkilothermés et homeothermes passe donc par une frontière commune. On pourrait suivre CABANAC qui au lieu de la classique division du monde animal en poïkilothermes et homeothermes préfère parler, d'endothermes (ou espèces tachymétaboliques) qui font usage d'une source de chaleur interne en plus de la source externe et d'ectotherme (ou espèce bradymétabolique) qui peuvent avoir de la chaleur presque exclusivement d'une source extérieure.

Ce sacrifice de l'homéothermie pose en médecine vétérinaire le problème de la discrimination entre une fièvre pathologique et une température élevée témoin d'une lutte efficace contre la chaleur.

Sur le plan pratique le problème de l'adaptation à la chaleur a beaucoup intéressé les chercheurs, ce dont témoigne la somme des travaux à ce sujet.

.../...

En effet, les grandes zones d'élevage dans le monde se situent dans les régions chaudes souvent sahéliennes subdésertiques où la concurrence homme-animal se fait moins sentir :

- les vastes zones sous peuplées d'Australie
- le Far west des Etats-Unis.

Une grande partie du cheptel bovin et ovin se trouve localisée dans ces zones.

L'Afrique ne fait pas exception à cette règle, et nous avons montré que le capital animal s'y rencontre à une densité qu'on ne retrouve nulle part ailleurs.

L'importance numérique du bétail dans ces zones ne peut s'expliquer que par des adaptations particulières qui leur permettent de croître et de se multiplier à tel point que l'on peut affirmer sans risque de se tromper contrairement à ce que l'on pensait avant que ces zones chaudes, inhospitalières sont favorables à l'élevage. Malgré la rareté de l'eau et la pauvreté du tapis végétal qui caractérisent ces zones, les animaux possèdent plusieurs mécanismes qui leur permettent de supporter de telles rigueurs climatiques.

En effet, les animaux adaptés, qu'ils soient sauvages ou domestiques dès qu'ils ont un disponible alimentaire, si maigres soient-ils, utilisent avantageusement cette situation pour prendre du poids et réaliser des réserves énergétiques sous forme de graisse. Ceci est possible grâce à leur particularité métabolique, à leur besoin réduit.

.../...

B I B L I O G R A P H I E

- 1 ADOLPH E.F. (1947)
Physiology of Man in the desert
New-York : Interscience.

- 2 AMSTRONG D. (1956)
Nutrition animale , vol II métabolisme et
transit p. 1356.

- 3 ANDERSON B. ET COLL (1965)
Central control of heat loss mechanisms in goat.
Acta. Physiol. scand. 65 : 45 - 60.

- 4 ANDERSON B. ET COLL (1965)
Temperature regulation and environmental physiology. Dukes" Physiol. of domestic animals
Sed. p. 1121 .

- 5 ANNISON ET COLL (1954)
Portal blood analysis in the Ruminant ammonia
formation with various diets, J. Agr. Sc.44, 270-273

- 6 BABOUR, H.G. (1912)
Die wirkung unmittelbarer Erwärmung und abkühlung
der warmezentra auf die Köpertemperatur.
Arch. Exp. Pathol. Pharmakol. 70 : 1 -26 .

- 7 BALDWIN B.A. and INGRAM D. L. (1968)
The influence of hypothalamic temperature and
ambient temperature on thermoregulatory mechanisms
in pig , J. Physiol. (London) 198 , 517 - 529.
- 8 BARGETON et COLL (1959)
Dans Hermann et Cier J. F.
Précis de physiologie , tome 4
régulation thermique : lutte contre la chaleur p.431
- 9 BENEDICT C.G. (1926)
The nature of perpiration insensibilis skand.
Arch. Physiol. 49 , 89 -90.
- 10 BERNARD C. (1876)
Leçons sur la chaleur animale
Paris Baillière ed.
- 11 BENZINGER T. H. (1969)
Heat regulation : homeostasis of central homeostasis
of central temperature in man , Physiol.
Rev. 49 , 671 - 759.
- 12 BENZINGER T.H. et KITZINGER E. (1963)
Temperature : its measurement and control in
science and industry in "biology and medicine "
(J. D. HARDY ed.), vol III pt 3 , p. 87 ,
Reinhold, New-York.

- 13 BIANCA W. (1965)
Responses of stress to water restriction.
Res. Vet. Sci. 6 , 38 - 55 .
- 14 BLAGDEN C. (1774)
Experiments and observations in an heated room.
Phil. Trans. Roy. Soc. 65 : 111 - 123.
- 15 BLAXTER K. L. (1967)
The energy metabolism of ruminants 2nd ed.
Spring field , III : Charles C. Thomas.
- 16 BLIGHT J. et COLL (1971)
Influence of ambient temperature ont the thermoregulatory responses to 5 hydroseytryptamine noradrenaline and acetylcholine injected of scheap goats and rabbits. J. Physiol. London 212 : 377 - 392.
- 17 BONVALET et DELL (1955)
Physiologie de la thermosensibilité périphérique et des mécanismes thermocentraux dans le comportement des homeothermes vis-à-vis du stimulus froid.
Colloque du C.N.R.S. Strasbourg p. 83 - 99.
- 18 BRODY S. (1945)
Bioenergetics and Growth. New-York ; Reinhold.

- 19 BROOK A. H. and SCHORT B. F. (1960)
Sweating in sheep. Austral. J. Agric. Res. 11 : 557 -569.
- 20 BROWN SEQUARD C.E. (1856)
Recherches experimentales sur la physiologie et pathologie des capsules surrenales.
Comptes rend. Acad. Sci. Paris 43 : 542 - 546.
- 21 CARGILLE et COLL (1969)
Précis de physiologie
Hermann et Ciers ; vol. 4 , p. 340.
- 22 CHROMTZKA F. et Seweder M. (1931)
Die unbeeinflussbarkeit der perspiratio insensibilis durch experimentelle und pharmakologische Eingriffe in den wasserhaushalt des menschen
Z. Ges. Exp. Med. 80 : 288 - 302.
- 23 CLARK et COLL (1971)
Release of endogenous pyrogen in cats by staphylococcal enterotoxin B. Experientia 1971, 27, 411-412.
- 24 CLAWSON A. B. (1928)
Normal rectal temperature of sheep .
Am J. Physiol. 85 : 251 - 270.

- 25 CRAIGSTON W. I., LUFF R. H. et COLL (1970)
Observations on the mechanism of salicylate
induced antipyresis
J. Physiol. London 210 , 593 - 600.
- 26 CRAWFORD E. C. and SCHMIDT-NIELSEN K. (1967)
Temperature regulation and evaporative cooling
in the ostrich.
Am. J. Physiol. 212 : 347 - 353.
- 27 DILL D. B., BOCK A. V. and EDWARDS H. T. (1933)
Mechanism for dissipating heat in man and dog.
Am. J. Physiol. 104 : 36 - 43.
- 28 DUKES H. H. (1956)
The physiology of domestic animals
(7 th ed) Ithaca, N. Y. Comstock , p. 1123.
- 29 EVANS C.L. and SMITH D. F. G. (1956)
Sweating responses in the horse.
Proc. Roy. Soc. B. London 145 : 61 - 83.
- 30 EVANS, S. E. and INGRAM D. L. (1974)
The significance of deep temperature in regulating
the concentration of thyroxine in plasma of pig.
J. Physiol. London 236 : 159 - 170.

.../...

- 31 FELDBERG W. and MYERS R. D. (1964)
Temperature changes produced by amines injected
into the cerebral ventricles during anaesthesia.
J. Physiol. London 175 : 464 - 478 .
- 32 FINDLAY J. D. and YANG S. H. (1951)
The sweat glands of ayrshire cattle.
J. Agr. Sci. Cambridge 40 : 126 - 133.
- 33 FINDLAY J. D. and THOMPSON G. E. (1968)
The effect of interventricular injections of
noradrenaline, 5 hy droxy typtamine acetylcholine
and tranlycypromline on the ose (Bos taurus)
at different environmental temperatures.
J. Physiol. London 194 : 809 - 816.
- 34 FINDLAY J. D. and INGRAM D. L. (1961)
Brain temperature as a factor in the control
of thermal polypnea in the ox (Bos taurus)
J. Physiol. 155 : 72 - 85.
- 35 FUSCO M.M., HARDY J. D. and HAMMEL H. T. (1961)
Interaction of central and peripheral factors
in physiological temperature regulation.
Am. J. Physiol . S 200 : 572 - 580.

.../...

- 36 FOLKOW B. (1960)
Role of the nervous system in the control of
vascular ton . Circulation , 21 : 760 - 768.
- 37 FONTAINE J (1919)
Die arterielle bleut drucks messung beim
Pferd. Arch; f; Anat. U. Physiol. 43 : 217 - 248.
- 38 FREEDMAN et COLL (1943)
The rectal temperature of a groups of niongre1
dogs ; Fed. Proc. 2 - 13 .
- 39 FRONDA F. M. (1925)
Some observations on the body temperature
of poultry.
Cornell : Vet. 15 : 8 - 20 .
- 40 FRONTHINGHAM et COLL (1912)
Normal temperature of rabitts.
Am. J. Physiol. 30 : 430 - 435.

.../...

- 41 GAALAAS J. (1945)
Effet of atmospheric temperature on body temperature
and respiration rate of Jersey Cattle.
J. Dairy Sci. 28 : 555 - 563
- 42 GIAGA J. (1938)
Homéothermie et thermoregulation
Paris : Hermann,
- 43 GOTTSCHALK L. et MYLLE (1959)
Micropuncture study of the mammalian urinary
concentration mechanism : evidence for the coun-
tercurrent hypothesis.
Amer. J. Physiol. 196, 927 - 936
- 44 GRASSE (P.)
Traité de Zoologie
Anatomie, Systématique - Biologie Tome XVI p. 159
- 45 HAFIZ (E.S.E.) 1968
Adaptation of domestic animals
Léa et Fébiger - Philadelphia
- 46 HAINSWORTH F.R. et STRICKER E.M. (1971)
Relation ship between body temperature and
salivary secretion by rats in the heat
J. Physiol. 63/3 257

.../...

- 47 HENSEL H. 1973
Temperature receptors in the skin. In physiological and Behavioral Temperature Regulation.
J.D. Hardy. Eds Springfield III Charles Thomas
P.P. 442 - 453
- 48 HERMANN et HUGES (1949)
Nutrition animale vol.II p. 874
- 49 HEWITT E.A. (1921)
A preliminary study of the normal variation in
the temperature of Cattle
J. Am. Vet. Med. Ass. 58 : 544 - 548
- 50 HOEDAY F. (1896)
Notes on physiological temperature
J. Comp. Path. Ther 9 : 286 - 314
- 51 ISENSCHMIDT H.A. (1962)
A Text-book of comparative Endocrinology
John Wiley, New-York
- 52 INGRAM (D.L.) (1964)
The effect of environmental temperature on body
temperatures respiratory frequency and pulse rate
in the young pig
Res. Vet. Sci. 5 : 342 - 356

.../...

- 53 INGRAM D.L. (1965)
Evaporative cooling in the pig
Nature (London) 207 : 415 - 416
- 54 IGGO A. (1969)
Cutaneous thermoreceptors in primates and subpri-
mates. J. Physiol London 200 P.P. 403 - 430
- 55 IGGO A. IGGO B.J. (1971)
Impulse Coding in primate cutaneous thermoreceptors
in dynamic thermal conditions.
J. Physiol. Paris 63 P.P. 287 - 290
- 56 JACQUOT R.A.M.; LEROY H. SIMONNET et Coll (1961)
Nutrition animale
Vol II ~~ed~~ Baillièrè Paris
- 57 JESSEN. K. (1967)
Auslösung von Hecheln durch isolierte Wärmung
des Rückenmarks an wachen Hund. Pflügers Arch.
297 : 53 - 70
- 58 JOHNSON H.D. and KIBLER H.H. (1966)
Haact and aging effects of thyroid function of
male rats
J. Appl. Physiol. 21 : 689 - 694

.../...

- 59 JORES (A) (1931)
Persperatioinsensibilis
2 ges. exp. Med. 77, P.P.734 - 742
- 60 JURGENSEN et Coll (1929)
Mikrobeobachtung der Schweißsekretion der Haut
des Menschen unter Kontrastfärbung. Dtsch. Arch
Klin Med. 144 : 193 - 201
- 61 KIBLER H.H. (1957)
Environmental and shelter engineering XLIII.
Energy metabolism and cardiorespiratory activities
of Shorthorn, Santa Gertrudis and Brahma heifers
during growth at 50° and 80°F temperatures
M. Agric Exp. Sta. Res. Bull n° 643
- 62 KIBLER H.H. et YECK R.G. (1959)
Environmental and shelter engineering L. Vapor-
ization rates and heat tolerances in growing
Shorthorn, Brahman and Santa Gertrudis Calves
raised at constant 50° and 80°F temperatures
M. Agric Exp. Sta. Res. Bull. n° 701

.../...

- 63 KINNE, R. MACFARLANE W.V. et BUDTZ-OLSEN O.E. (1961)
Hormone and electrolute excretion in sheep.
Nature London 192, 1084 - 1085
- 64 KUNO Y. (1956)
The Physiology of Herman Perspiration
2nd ed. London : Cenchill
- 65 LEE D.H.K. ROBINSON, K ; and HINES H.J.G. (1941)
Reactions of the rabbit to hot atmospheres.
Proc. Roy. Soc. Queensland
53 : 129 - 158
- 66 LEIKEIT W. et BECKER M. (1938)
Das Schicksal des Hanstoffs der Amid-Flocken
in Pansen.
Ztschr. Tierernd'hr Futtermutte
1. 97 - 101
- 67 LOBITZ W. et MASON H.L. (1948)
Chemistry of palmar sureat.
Discussion of studies on Chloride urea glucose
uric acid. ammino-nitrogen and creative
Arch. Dermatol. Syphiligr. 57, 907 - 915

.../...

- 73 MALOIJ G.M.O. (1970)
Economie d'eau chez l'âne somali
Am. J. Physiol. 219 : 1522 - 1527
- 74 MAGOUN H.V. HARRISON F. BROBECK J.R. and RANSON S.W. (1938)
Activation of heat loss mechanisms by local
heating of the brain
J. Neurophysiol 1 : 101 - 114
- 75 MANSFELD A. (1946)
Thermostylin A and B :
Temperature-regulating hormones of the thyroid.
Nature London 157 : 491
- 76 Mc. DONALD J.T. MACFARLANE W.V. (1958)
Renal fonction of sheep in hot environment.
Aust. J. Agric. Res. 9 680 - 692
- 77 MILTON A.S. et WENDLANDT S. (1970)
A possible role for prostaglandin
E₁ as a modulator for temperature regulation in
the central nervous system of the cat.
J. Physiol. London 207 76 - 77
- 78 MITCHELL D. (1970)
Measurement of the thermal emissivity of human
skin in vivo
Springfield : III : Charles C. Thomas : p.p. 25-33

- 79 MC MILLEN (R.E et LEE (KIK) (1967)
Science, 158 383 cité par Kayser.C. Physiologie Historique. Fonction de nutrition. 2e section. page 356
- 80 MONTAGNE (X)(1956)
The structure and function of skin
New-York : Académie Press.
- 81 MONTUORI V.B (1961)
Some functional properties of somatic apperent systeme. In Sensory communications
W.A. Rosenblith.ed.M.IT Press
Cambridge, Mass.
- 82 N.AKAYAMA.T. EISENMAN.JS. AND HARDY J.D (1961)
Single unit activity of anterior Hypothalemus during local heating.
Science 134. 560 -561
- 83 NDIAYE A.L (1965)
Conditions de l'élevage en Afrique tropicale Nord.
Rapport à l'accadémie Vet-France. Dec.
- 84 Palmer C.C (1917)
Effects of muscular exercise and the heat of the sun on blood and body temperature of normal pigs-

.../...

- 85 PINKSTON (J.O) BARD (P) et RIOCH D. MACK.
The responses to changes in environmental temperature after removal of portions of the forebrain.
(Amer.J. Physiol - 109.515)
- 86 RANDALL W.C. (1946)
Sweat gland activity and changing patterns of sweat secretion on the skin surface.
Amer. J. Physiol. 147 : 391-398
- 87 RANSON. S.W. AND INGRAM W.R. (1935)
Hypothalamus and regulation of body temperature
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 32 : 1439 -1441
- 88 RANSON S (X) AND MAGOUN H.W.(1939)
The Hypothalamus. Ergeb. Physiol. Biol.
Chem. Exp. Pharmacol 41 :56-63
- 89 RAWSON R.O et QUICK K.P (1970)
Evidence of deep body thermoreceptor response to intra abdominal heating of the eye.
J. Appl. Physiol. 28, 813-820
- 90 RAWSON R.O QUIK K.P et GOUGHLIN R.F. 1969
Thermoregulatory responses to intra-abdominal heating of the sheep
Science 165 919-920

.../...

- 91 RIEL R.F, M.H HARDY AND H.B. CARTER (1950)
The effect of dietary plane upon the reactions of
two breeds of sheep during short exposures to hot en-
vironments
Australian J. Agr. Res. 1.217-230
- 100 RIEMERSMID .GT. ELDER J.S.(1945)
The absorptivity of solar radiation of different co-
loured hairy coats of cattle.
Onderst. J.V et Sci. Anim/ Indust. 20 223-234
- 101 ROBERTS HAW. D. et TAYLOR C.R. (1968)
The control of sweat gland function in equines.
Proc. Int. Union Physiol. Sci.Vol.7.
- 102 ROGERSON. J. et COLL (1968)
Adaptation of domestic animals
Hafez E.S.E Lea Febiger Philadelphia
- 103 RUBNER M. (1894)
Die Quelle der thierischen Warme
Biologie 30 :73-142
- 104 RUSOFF et PIERCY (1946)
Nutrition Animale
Volume II. Tome II Pa. 923

.../...

- 105 SARGENT D.G. (1963)
Temperature : t Measurement and control in Science
and Industry. Vol.3, M.Herzfeld ed ; pt.
3,J.D Hardy ek. Reinhold, New York.PP.545 - 557
- 106 SAPIN JALOUSTRE (1955)
Nutrition animale Volume II
Métabolisme et transits Tomme II Page 1318
- 107 SCHOLANDER P.F. WALTERS V,HOCK,R. et Irving L. (1950)
Body insolation of some artic and tropical mammals
and bords . Bio. Bull 99. 225-227
- 108 SCHMIDT - NIELSEN et COLL (1956)
Water balance of Camel
Am. J. Physiol 185. 185- 194
- 109 SCHMIDT - NIELSEN KET COLL. (1957)
Urea excretion in the Camel
Am. J. Physiol 198, 203-212
- 110 SCHMIDT -NIEKEN K. B SCHMIDT - NIELSEN SA. et COLL (1957)
Body temperature of the Camel and its relation to
water economy. Am. J. Physiol : 188 : 103-112

.../...

111 SCHOEN A. (1971)

Influence de la chaleur et du manque d'eau sur la physiologie du Céphalopode du Cob des roseaux et du Cob d'Ouganda E. afr. agric. for J. 37 : 1-7

111 bis SCHOEN A. (1972)

Etude sur la physioclimatologie d'une antilope du désert : le DIK-DIK
E. Afric. agric. for J. 325-330

112 SERE A

Communication personnelle(non publiée)

113 TAYLOR C. RICHARD (1970)

Stratégies of temperature regulation Effect on evaporation en East africain ungulates.
Am. J. Physiol 219. 1131-1135

114 TERILL C.E (1968)

Adaptation of sheep and goats dans Adaptation of domestic animal
Edt. Lea et Febiger Vol 1. P.249

115 VISSAC B. (1969)

Possibilité d'amélioration de l'élevage par croisement et selection.
Colloque sur l'élevage, Fort-Lamy Tchad.
8-13 dec. 1969 pa. 484

.../...

- 121 YOUSEF M.K KIBLER H. H JOHNSON H. D (1967)
 Thyroid activity and heat production in cattle
 following sudden ambient temperature changes.
 J. Anim. Sci. 26 142 - 148
- 122 ZOLTERMAN et COLL (1953)
 Special senses : Thermal receptors.
 Ann. Rev. Physiol 15 : 357- 372

TABLEAUX

- n°1 The energy metabolism of ruminants 2nd ed.
 Spring field page 222
- n°2 The energy metabolism of ruminants 2nd ed.
 Spring field page 273

SCHEMAS

- n°1 Précis de physiologie vol.4page 433
- n°6 Adaptation of domestic animals - DUKE
 vol.VII page 1123

TABLE DES MATIERES

	page
<u>INTRODUCTION</u>	1
 <u>PREMIERE PARTIE : CARACTERES GENERAUX DE L'HOMÉOTHERMIE</u>	
 <u>Chapitre I</u> La Température de l'homéotherme	
A.- Quelques températures moyennes	5
B.- Variations physiologiques	6
1°) Nycthémerale	6
2°) Prise de nourriture : ADS	6
3°) Sexe	7
4°) Travail musculaire	7
5°) Age	7
 <u>Chapitre II</u> Les facteurs de l'équilibre	
	thermique 8
A.- Production de chaleur	8
B.- Pertes de chaleur	9
1°) La thermolyse directe	10
a) Les pertes par conduction	10
b) Pertes par convection	10
c) Pertes par rayonnement	10
2°) Thermolyse indirecte	12
a) Les pertes par évaporation cutanée	12
a-1 La perspiration insensible....	12
a-2 La sudation	13
b) Les pertes par évaporation	
pulmonaire	13

	page
<u>Chapitre III</u> Notion d'enveloppe et de noyau	15
A.- Surface de déperdition :	
Notion d'Enveloppe	15
B.- Le noyau central	15
 <u>Chapitre IV</u> Traitement théorique	 17
A.- Transfert de chaleur	17
B.- Excretion de la chaleur dans le milieu ambiant	19
1°) Perte de chaleur et surface du corps	19
2°) Perte de chaleur et conductibilité thermique	20
3°) Rôle du gradient de température..	20
4°) Chaleur de vaporisation	20

DEUXIEME PARTIE : MECANISMES DE LA THERMOREGULATION DANS LE CHAUD

<u>Chapitre I</u> Mécanismes de thermolyse directe	23
A.- Modifications circulatoires	23
B.- Adaptations comportementales	28
 <u>Chapitre II</u> Thermolyse indirecte	 29
A.- Activité des glandes sudoripares	30
1°) Les glandes eccrines	30
2°) Les glandes apocrines	31

QUATRIEME PARTIE : ADAPTATION

<u>Chapitre I</u>	La répartition du cheptel bovin ovin caprin camelin selon les zones climatiques en Afrique Occidentale	76
A.-	Le Cheptel bovin	76
B.-	Le Cheptel ovin et caprin	77
1°)	Cheptel ovin	77
2°)	Cheptel caprin	78
2-1	les chèvres du sahel	78
2-2	les chèvres Djalonké.....	78
2-3	les chèvres rousses de Maradi	78
C.-	Le Cheptel camelin	78
<u>Chapitre II</u>	Adaptation au climat chaud et humide	80
I.-	La thermolyse directe	81
A.-	Adaptations anatomiques	81
1°)	Absence du revêtement cutané	81
2°)	Présence de revêtement cutané	82
3°)	Les appendices cutanés	82
B.-	Adaptations comportementales	82
II.-	Thermolyse indirecte	83

Le Candidat

VU
LE DIRECTEUR
de l'Ecole Inter-Etats des Sciences et
Médecine Vétérinaires

LE PROFESSEUR RESPONSABLE
de l'Ecole Inter-Etats des Sciences et
Médecine Vétérinaires

VU
LE DOYEN
de la Faculté de Médecine
et de Pharmacie

LE PRESIDENT DU JURY

Vu et permis d'imprimer

Dakar, le

LE RECTEUR PRESIDENT DU CONSEIL PROVISOIRE DE L'UNIVERSITE DE DAKAR

SERMENT DES VETERINAIRES DIPLOMES DE DAKAR

"Fidèlement attaché aux directives de Claude BOURGELAT, fondateur de l'Enseignement Vétérinaire dans le monde, je promets et je jure devant mes Maîtres et mes Aînés :

- D'avoir en tous moments et en tous lieux le souci de la dignité et de l'honneur de la profession vétérinaire.
- D'observer en toutes circonstances les principes de correction et de droiture fixés par le code déontologique de mon pays.
- De prouver par ma conduite, ma conviction, que la fortune consiste moins dans le bien que l'on a, que dans celui que l'on peut faire.
- De ne point mettre à trop haut prix le savoir que je dois à la générosité de ma patrie et à la sollicitude de tous ceux qui m'ont permis de réaliser ma vocation.

QUE TOUTE CONFIANCE ME SOIT RETIREE S'IL ADVIENNE QUE JE PARJURE".