

L'eau. — Besoins de l'organisme.

Métabolisme. — Influence de l'abreuvement sur la production animale

par H. SIMONNET

Professeur à l'École nationale vétérinaire d'Alfort et à l'Institut national agronomique,
Membre de l'Académie nationale de Médecine et de l'Académie vétérinaire de France.

I. — L'EAU DANS L'ORGANISME ANIMAL

L'eau est un constituant de tous les êtres vivants, qu'ils appartiennent au règne végétal ou au règne animal et, parmi ces derniers, qu'ils soient adaptés à la vie aquatique, à la vie aérienne ou à la vie terrestre.

Pondéralement, c'est un constituant important de l'organisme puisque le corps des mammifères et des oiseaux adultes contient 65 à 75 % de son poids d'eau, contre 15 % de protéines, 14 % de lipides, 5 % de sels et 1 % de composés organiques divers. Ce taux est d'autant plus élevé que l'animal est plus jeune (1) et d'autant moindre que le sujet est plus gras (2) (*).

Cette masse d'eau est inégalement répartie dans les divers tissus, organes et humeurs en fonction de leur hydratation : liquide céphalo-rachidien, 99; matière grise cérébrale, 86; sang, 80; muscle, foie, 75; matière blanche cérébrale, 68,7; cartilage, 67; peau, 60 à 75 suivant l'âge; tissu élastique, 50; os total, 46; os, moelle exclue, 23; tissu adipeux, 6 à 20 (2).

Mais la répartition de l'eau dans un organisme vivant doit encore être envisagée d'une autre manière. Une partie de l'eau totale du corps se trouve en effet à l'intérieur des cellules : eau intra-cellulaire; l'autre partie qui se trouve à l'extérieur des cellules, eau extra-cellulaire, comprend l'eau du plasma sanguin et l'eau interstitielle ou eau des espaces tissulaires.

La répartition de ces divers fluides est approximativement la suivante par rapport au poids du corps : eau totale, 70 %; eau intra-cellulaire, 50 %; eau extra-cellulaire, 20 % (3); dans cette dernière,

l'eau du plasma représente 15 % et l'eau interstitielle, 5%.

C'est dire que 72 % environ de l'eau de l'organisme se trouve dans les cellules, 21 % dans le plasma et 7 % dans les espaces interstitiels.

Dans ces conditions, pour un bovin de 350 kg, la répartition serait la suivante : eau totale, 245 kg; eau intra-cellulaire, 175 kg; eau extra-cellulaire totale, 70 kg comprenant, eau du plasma, 18 kg et eau interstitielle, 52 kg.

D'autre part, s'il est possible d'extraire des organismes vivants de l'eau chimiquement pure, l'eau des organismes contient toujours, dans les conditions naturelles, des substances de nature très variée : lipides, glucides, protides, sels, qui se trouvent sous divers états. Les lipides sont en émulsion; les protides se trouvent soit en solution colloïdale : protéines et cénapses lipido-protidiques, soit en solution vraie : acides aminés, urée; les glucides sont en solution vraie ainsi que les sels.

La présence de ces substances confère à l'eau qui les contient des propriétés variées : eau solvant, eau d'imbibition des gels colloïdaux, eau libre, eau liée aux molécules (4); réciproquement, le fait d'être associées à l'eau confère à ces substances des propriétés nouvelles : ionisation, solubilisation, état colloïdal.

La répartition des substances associées à l'eau n'est pas identique dans les divers territoires liquidiens. En gros, l'eau du plasma est riche en chlore et en sodium, pauvre en potassium, assez riche en protéines; l'eau interstitielle est riche en chlore et en sodium mais elle est beaucoup moins riche en protéines que l'eau du plasma, un dixième environ; c'est une sorte d'ultra-filtrat du plasma. Quant à l'eau intra-cellulaire, elle ne contient pratiquement ni chlore ni sodium, elle est, par contre, assez riche en magnésium, riche en potassium et elle renferme quatre ou cinq fois plus de protéines que le plasma (5).

(*) Le nombre et l'importance des notes contenues dans l'article de M. le Professeur SIMONNET ont imposé à l'Éditeur de les placer en appendice (N.D.L.R.).

Les rôles que l'eau joue dans l'organisme vivant sont très variés et dépendent de ses propriétés physiques et chimiques qui en font un corps remarquable, unique en son genre (6).

L'eau est en effet un solvant très général, capable non seulement de donner des solutions vraies mais aussi des solutions colloïdales. Sa chaleur spécifique est la plus élevée de tous les liquides, cette propriété limite ou ralentit l'élévation de la température de l'organisme quand de la chaleur est produite; sa chaleur de vaporisation est également élevée, entraînant une perte de calorique importante quand de l'eau est vaporisée; sa conductibilité thermique élevée permet une égalisation rapide des écarts de température entre les divers territoires de l'organisme.

Sa tension superficielle élevée favorise les phénomènes de surface; sa viscosité faible facilite les déplacements de liquide; sa constante diélectrique élevée favorise l'intervention des ions H et OH dans diverses réactions.

Pour ces raisons, l'eau intervient dans la vie cellulaire comme constituant du protoplasme et comme véhicule aussi bien des métabolites nutritifs que des produits de déchet et des agents du travail cellulaire : enzymes, hormones; elle prend part aux actes du métabolisme dans les réactions d'hydrolyse et dans les processus d'oxydo-réduction. L'eau est un des principaux agents de l'homéostasie du milieu intérieur : concentration moléculaire, pH, température; elle entre dans la composition de toutes les sécrétions externes; elle intervient dans la vision comme constituant des milieux transparents de l'œil et dans l'audition comme constituant des liquides de l'oreille interne; elle joue un rôle de lubrifiant dans les séreuses articulaires et splanchniques et un rôle de protection mécanique par l'imbibition du tissu conjonctif sous-cutané.

II. — MÉTABOLISME DE L'EAU

La connaissance du métabolisme de l'eau ou mieux du transit de l'eau (7) comporte l'étude des processus suivants : résorption, circulation, mise en œuvre, utilisation, élimination.

L'eau qui circule dans l'organisme contient toujours diverses substances sous des états variés, de telle sorte que lorsque l'on envisage les mouvements de l'eau dans l'organisme c'est l'ensemble de l'eau et des substances qu'elle contient que l'on doit considérer.

Nous ne ferons que rappeler les données fondamentales concernant le transit de l'eau en ne soulignant que celles d'entre elles qui présentent un intérêt plus particulier pour la connaissance des besoins en eau de l'organisme animal.

1° Résorption de l'eau

Le lieu principal de la résorption de l'eau ingérée est l'intestin grêle, mais la résorption se produit aussi au niveau du gros intestin et, chez les ruminants, au niveau du rumen.

La résorption intestinale porte sur l'eau d'abreuvement et l'eau de constitution des aliments, elle intéresse aussi l'eau contenue dans les sécrétions digestives.

Les sécrétions digestives sont en effet très riches en eau : de 98 à 99,5 %, aussi la quantité d'eau déversée par cette voie est-elle considérable. Elle représente en moyenne deux à trois fois l'eau d'abreuvement, trois à quatre fois l'eau excrétée par l'urine, deux fois le volume du sang. La presque totalité qui sort ainsi de l'organisme pour contribuer à la digestion des aliments est reprise par la résorption intestinale (et par le rumen, chez les ruminants); seule une fraction relativement faible, retenue par le contenu intestinal, apparaît dans les fèces.

La résorption d'eau comporte le transport des substances qui y sont présentes en solution. Ce phénomène est en partie passif, résultant de la différence de concentration moléculaire entre le sang et la lymphe d'une part, et le chyle intestinal d'autre part; il est également influencé par la vitesse de circulation du sang; mais la résorption fait aussi intervenir l'activité de l'épithélium intestinal puisqu'elle se produit encore quand le contenu intestinal est fortement hypertonique.

Il n'y a pas de résorption d'eau au niveau de l'épithélium pulmonaire et la résorption cutanée qui peut se produire dans certaines conditions est sans importance du point de vue qui nous occupe.

2° Circulation.

L'existence de mouvements d'eau dans l'organisme est mise en évidence par le fait que de l'eau pénètre constamment dans l'organisme et que de l'eau en sort constamment. Les êtres vivants, non seulement vivent dans l'eau, mais ils vivent dans l'eau courante.

Toutefois l'intensité des mouvements de l'eau n'est pas identique dans tous les territoires de l'organisme.

L'eau contenue dans l'appareil circulatoire est l'objet d'un transfert rapide qui est fonction du débit cardiaque et des phénomènes vaso-moteurs. Une partie de cette eau fuit au niveau du rein, des glandes digestives, des surfaces épithéliales (tégument, épithélium mammaire et poumon), des glandes sudoripares et accessoirement des glandes lacrymales. Elle est remplacée par l'eau qui est résorbée par l'épithélium digestif (eau d'alimentation, eau des

sécrétions digestives ou par l'eau des espaces inter-cellulaires extra-vasculaires (8).

Ces divers fluides ne communiquent pas librement entre eux (9). L'eau de chaque cellule constitue une sorte de petit monde fermé; elle est séparée de l'eau interstitielle par la membrane cellulaire laquelle, chez les organismes animaux, n'a pas de traduction morphologique, mais est constituée par la concentration de certains éléments : acides aminés, lipides, ions, ... orientés, polarisés.

Cette « membrane » est perméable (10) à l'eau, au glucose, aux acéto-acétates, lactates, pyruvates, ... aux acides aminés, à l'urée; elle est imperméable aux protéines (sauf probablement dans le cas du foie), elle est également imperméable aux phosphates organiques mais perméable aux phosphates minéraux. Bien que la membrane soit perméable aux ions Cl, K, Na, les ions Cl et Na ne pénètrent pas dans la cellule (sauf dans le cas du globule rouge) et l'ion K y est retenu.

La réalisation de l'isotonie entre les liquides extra et intra-cellulaires se fait par des mouvements d'eau et non par des mouvements de substances dissoutes.

L'eau du plasma est séparée de l'eau interstitielle par les endothélias des capillaires. Ceux-ci sont perméables à l'eau et aux cristalloïdes qui s'y trouvent en solution; les lipides peuvent les traverser dans la mesure où ils sont solubilisés par des substances appropriées (substances hydro-tropiques); les endothelia sont imperméables aux protéines.

Les mouvements de liquide entre le plasma des capillaires sanguins et lymphatiques et les liquides interstitiels mettent en jeu les différences de concentration moléculaire, la pression hydrostatique du sang et la pression oncotique des protéines.

Les échanges d'eau avec le milieu ambiant mettent en jeu, outre les processus de résorption, les processus d'élimination dont nous parlerons plus loin et les processus de sécrétion qui sont le fait de cellules groupées en appareils glandulaires spécialisés : glandes digestives, glandes sudoripares, glandes lacrymales, glande mammaire, ou des cellules de certaines surfaces épithéliales : intestin, poumon.

3° Réserves d'eau.

L'organisme animal, bien qu'il contienne environ 70 % de son poids d'eau ne dispose que de faibles quantités d'eau sous forme de réserve au sens propre du terme (11). Cette eau disponible est représentée par l'eau des liquides circulants et des liquides interstitiels : c'est surtout l'eau du tégument et l'eau du tissu musculaire qui consti-

tuent le volant le plus important et le plus immédiatement utilisable sans dommage pour l'organisme; l'eau du foie, du myocarde, de la rate est également plus disponible que l'eau du plasma sanguin (12) dont les variations sont compensées par l'eau interstitielle. Inversement ces tissus emmagasinent l'eau plasmatique en cas d'absorption excessive (13) ou d'élimination insuffisante.

Cette eau de réserve peut être utilisée en cas de besoin, mais très vite des troubles apparaissent, dus à la diminution de l'hydrémie et à l'augmentation de la concentration des humeurs.

4° Utilisation de l'eau.

Nous ne rappellerons ici que les circonstances dans lesquelles l'eau entre dans une réaction chimique ou en provient.

L'eau est utilisée dans les réactions d'hydrolyse. Ces réactions assurent la presque totalité des actes chimiques de la digestion des glucides, des protides, des lipides, des esters phosphoriques. Les réactions d'hydrolyse sont également nombreuses et importantes dans le métabolisme intermédiaire.

L'eau intervient aussi dans les processus d'oxydation biologique qui ne résultent pas de l'addition d'oxygène au substrat mais de l'addition d'eau avec formation d'un hydrate suivie d'une déshydrogénation qui laisse un atome d'oxygène fixé au substrat tandis que les deux atomes d'hydrogène sont fixés par un accepteur d'hydrogène.

De l'eau est mise en circulation lors des processus de polymérisation des glucides en glycogène : une molécule d'eau par molécule de glucose condensée. Cette eau est restituée lors de la glycogénolyse.

Il résulte de ces processus que de l'eau est formée au cours du métabolisme intermédiaire des nutriments organiques. Cette eau endogène, eau occulte, eau d'oxydation, est produite en quantité variable suivant le nutriment utilisé : 0,55 g par g dans le cas des glucides, 1,071 dans le cas des lipides, 0,396 dans le cas des protides (14).

L'eau métabolique (15) joue un rôle particulier dans la nutrition cellulaire, différent de celui de l'eau d'origine exogène; sa production dans les cellules entraîne une diminution de la concentration moléculaire intra-cellulaire qui est à l'origine d'un mouvement d'eau ou de substances dissoutes entre la cellule et les espaces inter-cellulaires, fonction qui ne peut évidemment être assurée par l'eau d'origine exogène. Cette eau intervient d'autre part dans la couverture des besoins d'eau.

5° Elimination.

L'eau est éliminée sous deux états : état de vapeur, état liquide. L'élimination de vapeur d'eau se fait

par l'épithélium pulmonaire; il s'agit d'eau en nature, associée aux gaz de la respiration et aux produits volatils éventuellement éliminés par la voie pulmonaire.

L'élimination d'eau liquide se fait par des voies multiples : voie rénale, voie cutanée, sécrétions diverses. L'eau éliminée dans ces conditions contient toujours des substances dissoutes ou en suspension.

La signification de ces diverses voies d'élimination est différente en ce qui concerne les traversées de l'eau dans l'organisme.

L'élimination rénale est en rapport direct avec le métabolisme général puisque c'est par elle que l'organisme se débarrasse de la quasi-totalité des produits de déchet.

L'élimination cutanée est aussi une voie d'élimination de déchets d'importance relativement constante dans le cas de la perspiration insensible; elle est au contraire de grandeur très variable dans le cas de la sudation puisque l'importance de celle-ci dépend des besoins de la régulation de la température. Il en est de même pour l'élimination par la voie pulmonaire. L'importance relative de ces deux voies d'élimination diffère suivant les espèces animales.

Dans le cas des sécrétions, l'eau n'est éliminée que dans la mesure où elles sont mises en jeu par les mécanismes régulateurs propres à chacune d'elles. C'est le cas des sécrétions des diverses muqueuses : muqueuse des voies respiratoires supérieures et des bronches, muqueuse digestive, muqueuse des voies génitales... et des sécrétions des glandes individualisées : glandes annexes du tube digestif, de l'appareil génital, glandes lacrymales et glande mammaire.

III. — BILANS D'EAU

L'étude quantitative des mouvements de l'eau peut être faite par la mesure des bilans d'eau c'est-à-dire par la comparaison des entrées et des sorties d'eau et l'analyse des facteurs qui font varier la grandeur de ces postes.

Chez l'adulte normal, le bilan d'eau est en équilibre, c'est-à-dire que les entrées et les sorties se compensent comme c'est le cas par exemple pour le bilan d'azote chez l'adulte.

Le bilan peut être positif : les entrées sont alors plus importantes que les sorties, il y a rétention d'eau; c'est ce qui se produit à l'état physiologique durant la croissance ou à l'état pathologique lorsque des épanchements se forment dans les séreuses ou dans le tissu conjonctif (œdèmes).

Le bilan peut être négatif : les sorties sont plus grandes que les entrées, il y a déshydratation; c'est ce qui se produit par exemple lorsque les pertes

d'eau par vaporisation ne sont pas compensées par un apport d'eau suffisant.

L'établissement d'un bilan d'eau est une opération délicate qui exige la mesure exacte des recettes et des pertes d'eau de toute nature durant un temps déterminé.

L'établissement des recettes comporte la connaissance des quantités d'eau introduites par voie digestive : eau contenue dans les aliments, eau d'abreuvement, et de la quantité d'eau fournie par le métabolisme.

La mesure des pertes d'eau exige la détermination de la quantité d'eau éliminée par les matières fécales, de la quantité d'eau contenue dans l'urine et de la quantité d'eau perdue par évaporation (voie pulmonaire et, suivant l'espèce, voie cutanée). Elle comporte aussi, suivant les circonstances, la

	POIDS des fèces	EAU (%)
TAUREAU		
<i>Ration d'entretien :</i>		
Foin de graminées	20,46	82,6
Foin de graminées	16,88	81,3
Foin de luzerne	12,30	85,1
Foin de luzerne	9,12	74,3
Foin de luzerne	9,18	85,1
<i>Ration d'engraissement :</i>		
Foin, ensilage, farine de maïs	20,73	77,6
Foin, ensilage, farine de maïs	23,56	83,1
Foin, ensilage, tourteau de coton, tourteau de lin	19,20	79,7
Foin, ensilage, tourteau de coton, tourteau de lin	25,48	80,4
<i>Au cours du jeûne :</i>		
1 ^{er} jour	19,06	79,5
6 ^e jour	2,54	76,6
11-14 ^e jour	1,11	85,9
VACHE SÈCHE		
Foin de graminées	16,07	81,8
Concentrés	4,41	76,9
Concentrés	3,18	76,3
VACHE EN LACTATION		
Foin, ensilage, grains	22,50	84,1
Foin, ensilage, grains	25,30	87,8
Foin, ensilage, grains	29,97	84,3
Foin de luzerne	22,0	83,7

mesure de l'exportation d'eau par les productions de l'animal : lait, œufs, ou la fixation d'eau dans les tissus au cours de la croissance.

Le bilan de l'eau peut être établi en utilisant la formule suivante :

bilan de l'eau = bilan du poids + bilan des matières solides ingérées et excrétées + bilan des aliments métabolisés,

ou : $(P_f - P_i) + (S_1 - S_2) + (G + 0.49 P + L)$ (16).

Le tableau de la note 17 donne quelques exemples de bilans d'eau chez la Vache sèche et chez la Vache en lactation. On remarquera la grande variabilité des entrées d'eau et l'inégalité de la répartition des sorties suivant la nature de l'alimentation; ainsi, dans le cas des aliments peu concentrés, l'élimination fécale est voisine de la perte par vaporisation, elle est supérieure dans le cas des aliments concentrés.

La perte d'eau par les fèces dans une espèce donnée (18) dépend plus de la masse des matières fécales, qui est fortement influencée par la nature de l'alimentation, que de la teneur en eau des fèces, qui n'est que légèrement modifiée par la nature de l'alimentation et les conditions d'environnement.

Voici quelques renseignements concernant ces variations dans le cas des ruminants (d'après Leitch et Thompson) (Tableau ci-dessus).

D'une manière générale, la teneur des fèces en eau est légèrement plus élevée chez la vache en lactation que chez la vache sèche et chez la vache que chez le taureau. On compte en moyenne une élimination d'eau par les fèces égale à quatre fois le poids de la matière sèche chez le taureau et la vache sèche et à cinq fois chez la vache laitière.

On a cherché s'il existait une relation entre la teneur des fèces en eau et la teneur de l'alimentation en cellulose brute ou en extractifs non azotés. Les résultats sont peu cohérents : voici quelques chiffres d'après Leitch et Thompson (Tableau ci-contre).

Les pertes par l'urine sont très différentes chez les diverses espèces animales.

L'élimination rénale d'eau ne peut sans danger descendre au-dessous d'un certain minimum conditionné par la quantité de matériaux à éliminer : électrolytes et surtout déchets azotés, urée chez les mammifères (19), acide urique chez les oiseaux. La dilution de l'urine est réglée par le pouvoir de concentration du tube urinaire vis-à-vis de la filtration glomérulaire, pouvoir de concentration qui réalise une économie d'eau importante pour l'organisme. Chez les oiseaux, l'urine excrétée par les uretères est encore concentrée dans le cloaque pour certains, dans le rectum pour d'autres; elle est rejetée à l'extérieur sous forme semi-solide (20).

	EAU des fèces	CELLULOSE brute	E.N.A.	EAU cell. + E.N.A.
TAUREAU				
<i>Entretien :</i>				
Foin de luzerne ...	6,78	1,11	0,62	3,9
Foin de luzerne et farine de maïs ..	3,41	0,34	0,32	5,2
VACHE SÈCHE				
Foin de graminées (flécle).....	13,15	0,99	1,29	5,8
Foin d'avoine	8,80	0,30	0,72	8,0
VACHE LAITIÈRE				
Foin, grains, ensi- lage	25,2	1,33	2,19	7,2
Foin, grains, ensi- lage	22,2	0,88	1,30	10,2
Foin, grains, ensi- lage	19,6	0,90	1,30	8,0

Chez les mammifères, l'urine est toujours diluée, mais, d'une espèce à l'autre on observe des différences sensibles de densité (21).

Au-dessus de la quantité-seuil, l'élimination d'eau par l'urine est influencée par les ingesta d'eau (eau des aliments et eau de l'abreuvement) d'une part, par les pertes par la voie pulmonaire et la voie cutanée d'autre part et, éventuellement, par les pertes par la voie intestinale (diarrhée profuse).

Les quantités moyennes d'urine éliminées par les animaux domestiques sont les suivantes (22).

Les pertes par la voie cutanée et par la voie pulmonaire sont encore plus variables; elles constituent en effet, dans la plupart des espèces le facteur principal de l'homéostasie de la température corporelle (23).

On peut distinguer dans ces pertes un élément relativement constant dépendant principalement du métabolisme et, accessoirement, de l'environnement et un élément variable influencé surtout par les conditions extérieures.

L'élément constant est représenté dans le cas de l'élimination pulmonaire par la quantité d'eau nécessaire pour saturer d'eau l'air alvéolaire; comme la température de l'air pulmonaire est constante et égale à la température du corps ou très voisine d'elle, la quantité d'eau ainsi perdue dépend de l'humidité de l'air inspiré, de sa température et de la ventilation pulmonaire.

Dans le cas de l'élimination cutanée, l'élément

constant est constitué par la perspiration insensible qui résulte de la diffusion d'eau au travers du tégument et non d'une sécrétion des glandes sudoripares, de sorte qu'elle se produit dans toutes les espèces, qu'elles transpirent ou non. L'importance de la perte d'eau par diffusion dépend de la teneur de l'organisme en eau, de l'intensité de la circulation cutanée et de la perméabilité cutanée; elle s'accroît quand la température extérieure s'élève et que le degré hygrométrique s'abaisse (24).

La quantité de chaleur perdue par vaporisation représente environ 25 % de la quantité totale de chaleur émise (16 à 30 % suivant les espèces) (25). Elle dépend donc non seulement du métabolisme de base et de la température extérieure mais aussi du niveau de nutrition (26). Elle est également influencée par l'état du revêtement cutané (27).

La perte d'eau par émission cutanée et pulmonaire peut être déterminée directement dans une chambre calorimétrique équipée pour la mesure de la vapeur d'eau; elle peut être mesurée indirectement par la perte insensible de poids (28) dont elle constitue un élément.

La perte insensible de poids qui se produit indépendamment de l'émission d'urine ou de matières fécales et en l'absence de l'ingestion d'eau ou d'aliments solides est due à la perte d'eau par la voie cutanée et par la voie pulmonaire, accrue de la valeur algébrique de la différence entre le poids d'oxygène absorbé et celui de gaz carbonique produit et, chez les herbivores, du poids des gaz de fermentation, méthane en particulier (29).

Si le quotient respiratoire est égal à 0,725, $CO_2 = O_2$ (en poids) la perte insensible de poids est égale à la perte insensible d'eau; si la proportion de glucides utilisés augmente, CO_2 est plus élevé que O_2 , la perte insensible de poids diminue par rapport à la perte insensible d'eau; si les lipides sont seuls consommés, la perte insensible d'eau est plus élevée que la perte insensible de poids (30).

L'élément variable de la perte d'eau dépend de la quantité d'eau utilisée pour assurer la régulation de la température en dehors de la zone de neutralité thermique; la vaporisation de 1 g d'eau à 33°C entraînant l'utilisation de 0,578 cal. g (0,584 à 22°C).

L'importance relative des deux voies de perte d'eau est différente d'une espèce à l'autre et suivant les circonstances extérieures.

Chez les espèces dont l'appareil sudoripare est, sinon bien développé, tout au moins fonctionnel, les pertes d'eau par transpiration représentent le moyen le plus important mis en œuvre pour assurer l'homéostasie thermique.

Chez les espèces dont le système sudoripare est peu ou pas développé, les pertes par la voie pulmonaire sont au contraire prépondérantes.

L'efficacité de ces deux modes de régulation est d'ailleurs inégale. Aux températures élevées, la régulation thermique par évaporation d'eau joue mieux chez les animaux qui transpirent beaucoup : cheval, âne, homme que chez les animaux dont l'appareil sudoripare est moins efficace et qui dépendent surtout ou exclusivement de l'évaporation pulmonaire : chien et surtout bovins et porcins.

L'atmosphère sèche est plus favorable dans le cas de l'évaporation cutanée que l'atmosphère humide. Chez le lapin, le cobaye et le rat, la diminution de l'humidité de l'air ne favorise pas la lutte contre la chaleur (31). On peut aussi remarquer que les animaux de grande taille utilisent l'évaporation d'eau (cutanée ou pulmonaire), tandis que chez les espèces de petite taille, en raison de leur surface relativement élevée par rapport au poids, les gains de chaleur dans un environnement à température élevée sont si grands que trop d'eau serait nécessaire pour assurer la régulation thermique par vaporisation, c'est pourquoi les espèces de petite taille ont tendance à éviter la température élevée ou adoptent une économie d'eau différente.

D'une manière générale les bovins sont plus tolérants à la chaleur que le lapin (32), le porc et le chat; ils le sont moins que le chien (33) et le mouton (34), le cheval et l'âne (35) et l'homme (36). Les camélidés occupent une position à part. Les oiseaux sont assez résistants (37).

L'importance de la sécrétion sudorale est très inégale suivant les espèces.

Elle est considérable chez l'homme (38), elle est du même ordre de grandeur chez le cheval, elle est également importante chez le rat (39). Elle est moindre chez le mouton qui peut cependant transpirer sur toute la surface du corps. Elle est nulle chez la chèvre, le lapin, le chien et le chat (40), les oiseaux; elle est minime chez le chameau.

Chez les bovins, dont les glandes sudoripares sont développées sur tout le corps (41), la sudation est surtout abondante au niveau du mufle. La sudation est localisée au groin chez le porc.

Un mode accessoire de réfrigération cutanée est assuré par la salivation. Ce phénomène est important chez le chien et chez le chat, il se produit à un moindre degré chez le cobaye, le rat et la souris; il est observé chez les bovins chez lesquels on a noté une sécrétion de 1 l/h (42).

La perte de chaleur par voie cutanée dépend de deux facteurs, la quantité d'eau sécrétée et la quantité d'eau évaporée.

Le premier processus est d'ordre physiologique, sa régulation dépend de l'activité des glandes sudoripares et des mécanismes qui la règlent.

Le second processus est d'ordre physique, son

intensité dépend de la différence entre la température extérieure et la température cutanée, de l'état hygrométrique de l'air et de son agitation. En réalité, ce qu'il faut considérer de ce point de vue ce sont les conditions locales telles qu'elles existent au niveau de la peau c'est-à-dire que la micro-atmosphère constituée par tout intermédiaire entre la surface de la peau et l'atmosphère viendra perturber ce phénomène; le vêtement chez l'homme, l'état de la toison chez les animaux : une toison épaisse réduit la perte de chaleur par radiation et augmente la perte par évaporation.

Le second processus, indépendant de l'animal, conditionne l'efficacité du premier, car si la sueur est sécrétée et que l'eau qu'elle contient ne peut être vaporisée, le travail de la sudation est perdu pour la régulation de la température.

La sécrétion sudorale n'entraîne pas seulement une perte d'eau, mais elle s'accompagne de la sortie — inutile pour la régulation de la température — des substances contenues dans la sueur : chlorure de sodium principalement, sulfates, phosphates, composés soufrés, acide lactique, urée, vitamines hydro-solubles.

La composition de la sueur, ses variations en fonction de l'intensité de la transpiration, bien étudiées chez l'homme, sont mal connues dans les espèces animales (43).

L'élimination de ces diverses substances a des répercussions différentes suivant leur nature. L'élimination des substances de déchet diminue le travail du rein, elle est donc en principe favorable : l'élimination des matières minérales (calcium), l'élimination de vitamines hydro-solubles (thiamine, acide ascorbique) est certaine mais elle reste toujours trop faible pour être préjudiciable, sauf peut-être dans le cas du fer (43); par contre, la spoliation de chlorure de sodium dans les espèces chez lesquelles la régulation de la température dépend essentiellement de l'évaporation cutanée est cause de troubles de l'équilibre hydro-minéral qui sont bien connus chez l'homme travaillant dans un milieu de température élevée : soutiers, mineurs, ouvriers des fonderies.

L'évaporation d'eau par la voie pulmonaire est un moyen très efficace de dissipation de chaleur et il n'entraîne pas de perte de chlorure de sodium.

Ce mécanisme est sans importance chez l'homme, par contre, concurremment avec la sudation, il est important chez les bovins (44) et chez le mouton; il atteint son maximum d'intensité chez le chien.

La polypnée thermique (Ch. Richet, 1898) consiste essentiellement dans la vaporisation d'eau sécrétée par l'épithélium de la trachée et des bronches (sorte de sudation) sous l'influence d'un courant d'air provoqué par l'accroissement de la ventilation

pulmonaire (de 1 à 10) qui ne modifie pas sensiblement les échanges respiratoires au niveau du poumon. La polypnée thermique peut être à l'origine, chez le chien, d'une alcalose très accentuée mais bien tolérée (45).

Les pertes d'eau résultant des productions animales ne sont pas négligeables.

Elles sont importantes dans la sécrétion lactée; la production de 1 litre de lait entraîne chez la vache l'élimination de 873 g d'eau en moyenne (871-877) (46) soit, pour une vache produisant 20 litres de lait, plus de 17 litres d'eau, le double de la perte moyenne par l'urine. Cette perte d'eau correspond à un besoin généralement considéré comme plus élevé : 1,5 à 3 litres, sans doute du fait du niveau métabolique plus considérable que la lactation entraîne.

L'œuf contient environ 73 % d'eau soit pour un œuf de taille moyenne 37 g d'eau, quantité qui n'est pas négligeable pour un animal de 2 kg.

La fixation d'eau dans les tissus formés au cours de la croissance est importante, elle décroît avec l'âge et le degré d'engraissement, elle varie entre 35 et 70 % du gain de poids (47).

Le travail musculaire ne s'accompagne pas de la consommation directe d'eau bien que le tissu musculaire fixe à cette occasion 5 à 10 % de son poids d'eau, mais le travail musculaire exige l'évaporation d'eau pour compenser la production d'extra-chaleur résultant de la transformation de l'énergie chimique en énergie mécanique.

Les recettes d'eau, c'est-à-dire l'eau dont l'organisme dispose pour satisfaire à ses besoins, sont d'origine endogène et d'origine exogène.

L'eau d'origine endogène a deux sources d'importance inégale : les réserves d'eau et l'eau provenant de la combustion des nutriments organiques.

Les réserves d'eau dont l'organisme dispose sont minimes. Elles sont représentées par l'eau des liquides circulants et l'eau des liquides interstitiels. Une certaine partie de cette eau peut être utilisée en cas de bilan négatif mais, très vite, des troubles apparaissent, dus à la diminution de l'hydrémie et à l'augmentation de la concentration des humeurs. Cette contribution à l'économie de l'eau n'est donc qu'une ressource de seconde ligne contre l'établissement d'un bilan négatif.

La production d'eau métabolique peut représenter une ressource importante chez les animaux qui possèdent des réserves importantes de lipides.

C'est le cas des camélidés chez lesquels le poids de ces réserves est de l'ordre de 25 à 30 kg chez un sujet en bon état d'entretien. Cette quantité correspond à une quantité égale d'eau dont 10 % environ provient de l'eau de constitution du tissu

adipeux et 90 % à l'eau métabolique des matières grasses.

Il est vraisemblable que la loupe caudale de certaines races de moutons joue un rôle analogue.

L'eau métabolique joue un rôle capital dans l'économie de l'eau de certains rongeurs des régions désertiques : rongeurs des genres *Dipus* (Gerboise), *Jaculus*, *Gerbillus*, *Meriones* (Gerbille), *Dipodillus* des grands déserts paléarctiques ; *Pedetes* (lièvre sauteur) des déserts sud-africains ; *Dipodomys* (rat kangourou), *Perognathus*, des déserts américains ; *Notomys*, *Ascopharynx*, des déserts australiens.

Le comportement du rat kangourou qui ne consomme pas d'eau en nature et peut survivre avec une alimentation sèche a donné lieu à des recherches approfondies de la part des Schmidt-Nielsen (48).

A côté de ces rongeurs si sobres, il en est d'autres : *Spermophilus*, *Neotoma*, *Lupus* (*L. californicus*) qui n'utilisent pas non plus l'eau pour leur régulation thermique mais qui sont cependant incapables de survivre aux températures élevées s'ils ne consomment que des aliments secs ; ils cherchent les aliments riches en eau : végétaux succulents ou animaux (cas de *Onychomys leucogaster*, rongeur insectivore).

Il faut remarquer que beaucoup de petits rongeurs vivent durant les heures chaudes dans des terriers dont ils obstruent l'entrée ; la température y est généralement inférieure à 30° C et l'humidité de l'atmosphère atteint 7 à 15 g d'eau par litre d'air. Pour ces espèces il n'y a pas de problème spécial de ravitaillement en eau du fait de leur vie diurne souterraine et de leur vie nocturne à l'air libre.

Les animaux en hibernation n'ont pas d'autre source d'eau que l'eau métabolique. Il en est de même des mites qui peuvent vivre dans une atmosphère sèche avec des aliments ne contenant que 5 à 10 % d'eau et qui donnent cependant des larves contenant 50 à 80 % d'eau (Babcock, *loc. cit.*).

L'eau des réservoirs gastriques ne représente qu'une réserve très minime chez les Carnivores et chez les Omnivores ; elle est plus importante chez les Herbivores, mais la quantité d'eau physiologiquement disponible est faible car la résorption de cette eau entraîne rapidement une dessiccation du contenu gastrique des réservoirs incompatible avec leur fonctionnement normal.

C'est seulement dans le cas des Camélidés que la question d'une réserve gastrique d'eau peut être soulevée.

D'après F.-X. Lesbre (49) les cellules aquifères du rumen des Camélidés peuvent contenir 20 à 25 litres d'eau (cette estimation faite sur le cadavre, mériterait d'être réétudiée dans des conditions d'alimentation et d'abreuvement bien contrôlées).

Ces cellules sont pourvues de sphincters à leur ouverture dans le rumen ce qui pourrait faciliter la mise en réserve d'eau ; leur muqueuse est différente de celle du rumen, le fait qu'elle contiendrait de nombreuses glandes en tube a soulevé l'hypothèse d'une sécrétion digestive à leur niveau.

Ces cellules aquifères pourraient donc jouer le rôle de réservoirs d'eau et seraient peut-être capables de diluer le contenu du rumen en cas de disette d'eau.

On a également suggéré la possibilité d'une mise en réserve d'eau dans le tissu conjonctif sous-cutané. Le chameau peut en effet boire une centaine de litres d'eau après 4-5 jours de jeûne ; il apparaît alors un œdème sous-cutané qui peut persister 24 heures (50). Il paraît en être de même chez l'âne.

L'eau d'origine exogène est représentée par l'eau des aliments et par l'eau de boisson.

La quantité d'eau apportée par les aliments solides est très variable. Elle est faible dans certains aliments : 10 à 12 % dans le cas des grains, des foin, des farines de viande, des farines de poisson ; elle est au contraire élevée : 65 à 80 % dans l'herbe de pâturage, 85 % dans les racines, 90 % dans les pulpes, 94 % dans le petit-lait (voir aussi note 64).

Cet apport d'eau dissimulée est capable, dans certaines conditions de satisfaire entièrement les besoins d'eau du lapin et du mouton.

L'eau de boisson fournit le complément d'eau nécessaire à l'animal. Nous verrons plus loin que l'origine de l'eau, ses contaminations, les conditions de sa conservation peuvent lui conférer des propriétés importantes du point de vue de l'hygiène.

IV. — HOMÉOSTASIE DE L'EAU

L'homéostasie de l'eau est en réalité l'homéostasie des solutions et celle des gels colloïdaux dans lesquels l'eau est engagée ; elle a pour objet le maintien de la pression osmotique et de la pression oncotique dans les divers territoires liquidiens entre les limites compatibles avec la structure des colloïdes cellulaires.

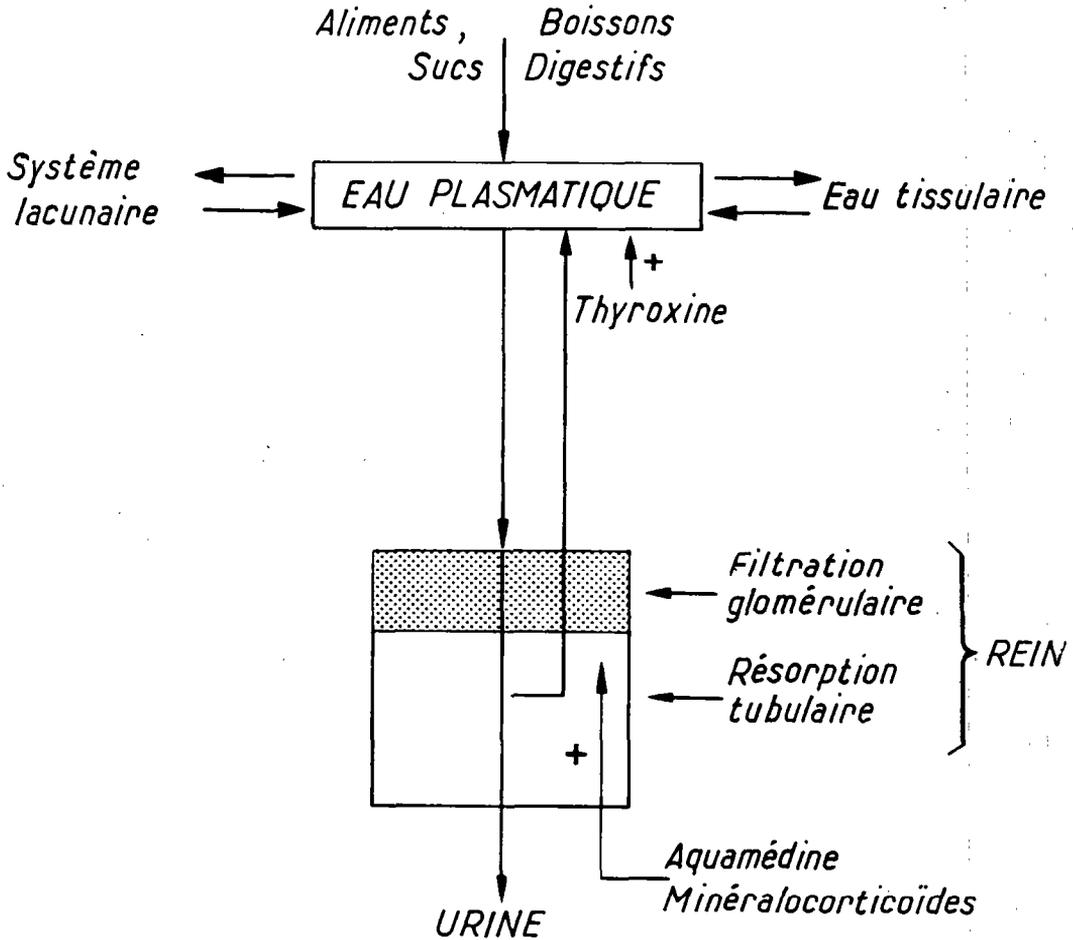
Les mécanismes mis en œuvre pour sauvegarder la structure et la composition des cellules en dépit des perturbations apportées par la vie même de chaque cellule et les variations des conditions de l'environnement sont de nature très diverse et s'étagent en quelque sorte sur plusieurs lignes de défense.

Entre les liquides intra et extra-cellulaires, seuls jouent des processus physico-chimiques qui mettent principalement en cause la perméabilité cellulaire. Il en est de même entre les liquides extra-cellulaires et le plasma sanguin : l'hypertonie sanguine

détermine un appel d'eau des tissus, l'hypotonie déclenche le passage d'eau vers les tissus. La pression oncotique des protéines plasmatiques joue également un rôle régulateur : l'hydrophilie de la sérum-albumine est environ quatre fois plus élevée que celle des globulines, de ce fait la valeur du rapport de ces deux groupes de protéines joue un

métabolisme de l'eau est encore influencé indirectement par les minéralo-corticoïdes du cortex surrénal, la désoxycortico-stérone en particulier qui stimule la rétention du chlore et du sodium et l'élimination du potassium. La DOCA entraîne à forte dose l'hydrémie et la diminution de la teneur de la sueur en chlorure de sodium (52).

RÉGULATION HORMONALE DU TRANSIT DE L'EAU



rôle important dans la teneur du plasma sanguin en eau.

Les échanges d'eau au niveau des tissus sont modifiés par les produits de sécrétion interne (51). C'est le cas des hormones qui stimulent le catabolisme ou qui modifient l'hydrophilie tissulaire : thyroxine, ou de celles qui influencent des processus de polymérisation : insuline, gluco-corticoïdes. Le

L'homéostasie des liquides plasmatiques dont dépend l'homéostasie des liquides interstitiels est assurée par le contrôle rénal de l'élimination d'eau et par la sensation de soif qui règle l'ingestion d'eau en nature.

Le contrôle rénal s'effectue essentiellement par le processus de réabsorption tubulaire qui reprend — en fonction des besoins de l'organisme — l'eau

et les substances qui ont filtré au niveau du glomérule, réalisant ainsi une remarquable économie d'eau. L'étude du mécanisme de ce phénomène a donné lieu à de très nombreuses expériences que nous ne rappellerons pas.

Il est contrôlé par l'hormone dite anti-diurétique ou anti-polyurique ou aquamédine, élaborée par la post-hypophyse ou peut-être par le diencéphale.

L'aquamédine ne paraît pas agir sur la filtration glomérulaire mais elle contrôle la « réabsorption facultative » au niveau de l'anse de Henle. On sait que la réabsorption de l'eau et des électrolytes est iso-osmotique dans la partie proximale du tube urinaire; dans les conditions normales, 80 % de l'eau filtrée au niveau des glomérules est réabsorbée dans la partie proximale, mais l'urine demeure iso-osmotique au plasma tout le long de ce segment, l'eau est donc réabsorbée en même temps que du glucose et des électrolytes. Au contraire, dans l'anse de Henle et la partie distale du tube, l'urine devient hypertonique. Cette réabsorption active est qualifiée de « réabsorption facultative » par opposition à la réabsorption proximale, iso-osmotique, obligatoire.

La régulation de l'élaboration et de la mise en circulation de l'aquamédine hypophysaire est directement sous contrôle nerveux; elle a pour origine les *stimuli* qui atteignent les noyaux hypothalamiques qui les transmettent par la voie du faisceau supra-optique.

La sécrétion du principe anti-diurétique est contrôlée par les variations de pression osmotique du plasma, les récepteurs, osmo-récepteurs, sensibles à ces variations seraient situés dans la carotide interne et dans ses branches intra-crâniennes (53) ainsi que dans le noyau supra-optique.

Les variations thermiques influencent également la sécrétion d'hormone post-hypophysaire. L'expérimentation montre que les phénomènes qui assurent la thermolyse (vaso-motricité, sudation, polypnée thermique...) peuvent être obtenus par stimulation de l'hypothalamus antérieur où se trouvent les noyaux supra-optiques. La contiguïté de ces groupes neuroniques peut expliquer une coordination entre les mécanismes qu'ils commandent. Quoi qu'il en soit, au début de la période d'exposition au chaud, caractérisée par une hémodylution, la diminution de la diurèse est due à la libération d'aquamédine. L'exposition prolongée à une température élevée, ayant entraîné des pertes d'eau, détermine une hémodyconcentration sanguine et une déshydratation de l'organisme, mais la libération d'hormone post-hypophysaire est encore accrue du fait que, à l'action de la chaleur, s'ajoute le *stimulus* constitué par la déshydratation elle-même (54) et (55).

La sensation de soif s'accompagne de la sécheresse de la bouche et du pharynx et du désir de liquides. Elle est commune à tous les mammifères et aux oiseaux; la sensation de soif est l'équivalent de la sensation de faim, mais elle est plus impérieuse et ne s'atténue pas spontanément comme elle quand la privation d'eau se poursuit; il existe également un « appétit » d'eau manifeste dans les espèces chez lesquelles le psychisme est développé.

Le mécanisme de la sensation de soif (56) n'est pas encore élucidé. Deux théories fondamentales sont encore en présence :

1° la soif a une origine diffuse, déterminée par la déshydratation ou la concentration des humeurs : théorie de Claude Bernard (57);

2° la soif a une origine locale, résultant de la stimulation de récepteurs locaux de la bouche et du pharynx par diminution de la sécrétion salivaire : théorie de Cannon (58).

Dill (59) résume ainsi la position actuelle de la question :

« La sensation de soif ne dépend pas nécessairement de la sécheresse de la bouche; l'aptyalisme ne s'accompagne pas de soif.

« Elle n'est pas en rapport étroit avec la pression osmotique des humeurs. Une légère augmentation de la pression osmotique observée à la suite de l'ingestion de ClNa détermine une soif intense, tandis que la même concentration moléculaire produite par l'urée à laquelle les cellules sont perméables n'est suivie que d'une soif modérée.

« La soif ne dépend pas du volume plasmatique ni de celui de l'eau extra-cellulaire. L'injection intra-péritonéale d'une solution de glucose qui réduit le volume des liquides extra-cellulaires ne cause pas la soif.

« La soif dépend de la diminution de l'hydratation et de l'élévation de la pression osmotique intracellulaire. Elle peut être partiellement calmée par l'irrigation de la muqueuse buccale avec de l'eau, mais elle ne peut être satisfaite que si l'eau atteint les cellules. »

L'homéostasie de l'eau et des électrolytes peut être perturbée par de nombreux facteurs qui aboutissent aux états de déchloruration et aux états de déshydratation.

Les états de déchloruration se rencontrent surtout après les vomissements abondants, les diarrhées profuses; ils peuvent aussi résulter de l'ingestion d'un excès d'eau, ou de sudation abondante.

Ce dernier cas s'observe à la suite de l'exposition à la chaleur (mines, soutes, fonderies, climat tropical). Dans ce cas, les sueurs profuses ne sont pas compensées par l'ingestion d'eau car elles s'accompagnent d'altérations humorales que traduit une

hypochlorémie précédée d'hypo- ou d'achlorurie. Les troubles ne s'amendent que si l'on ajoute du sel aux boissons.

G. Pille (60) a bien étudié ce phénomène; chez l'homme notamment, il a réalisé la mesure de l'action des conditions torrides par la détermination indirecte de l'élimination basale de sel par le moyen de la surface de sudation. Ce procédé pourrait être étendu aux animaux.

Les états de déshydratation se présentent sous trois types.

La déshydratation globale par manque d'eau; elle porte sur les liquides extra-cellulaires (1/3) et intra-cellulaires (2/3).

La déshydratation par perte d'électrolytes, « dys-hydratation » de R.-S. Mach; la perte est supportée par les liquides extra-cellulaires, il y a augmentation de l'eau intra-cellulaire.

La déshydratation cellulaire, dans laquelle la perte d'eau est supportée par les cellules (diabète insipide, traitement prolongé par la désoxycorticostérone).

Les caractères biologiques et cliniques, les modalités thérapeutiques sont résumés de la manière suivante par R.-S. Mach (61).

V. — BESOINS D'EAU

Les données qui viennent d'être exposées permettent en principe de déterminer les besoins d'eau d'un animal d'une espèce donnée placé dans des conditions d'environnement définies.

Une telle détermination n'offre qu'un intérêt spéculatif dans le cas où l'eau d'alimentation est suffisamment abondante pour que les animaux puissent régler leur abreuvement en fonction de leurs besoins par le jeu de la sensation de soif.

Toutefois, des documents précis seraient intéressants, non seulement d'un point de vue scientifique, mais aussi d'un point de vue pratique, pour connaître la limite inférieure des besoins dans les conditions d'exploitation où les approvisionnements d'eau sont limités : transports à grande distance et surtout périodes de pénurie ou de disette d'eau.

Les facteurs modificateurs qui doivent être pris en considération pour résoudre ce problème sont nombreux.

La mesure de certains d'entre eux est facile, elle est plus aléatoire pour d'autres, surtout du fait que des variations individuelles importantes se produisent.

On pourrait fixer une sorte de besoin de base qui dépend de la quantité de chaleur à éliminer en fonction de l'énergie métabolisable. Chez les mammifères, on compte que 80 % de l'énergie est

transformée en chaleur dont 40 % est dissipée par évaporation.

On a voulu fixer à 1 ml par cal. de chaleur produite, la quantité d'eau fournie par l'alimentation (62); cette allocation est généralement considérée comme faible.

Une autre dépense d'estimation facile est représentée par la fixation d'eau pendant la croissance ou par l'exportation d'eau dans le lait.

Il faut aussi tenir compte, dans les pertes d'eau, de l'élimination fécale et urinaire; les quantités d'eau ainsi perdues dépendent dans une certaine mesure de la nature de l'alimentation.

Mais la demande d'eau dont l'évaluation est la plus aléatoire est celle qui résulte de la régulation de l'homéostasie thermique vis-à-vis des températures élevées.

Les besoins d'eau en nature peuvent être calculés, à partir de ces données, en déduisant de la quantité totale d'eau nécessaire celle qui est apportée par les aliments et par leur utilisation (eau métabolique).

Dans ces conditions, on devrait pouvoir établir des prévisions en fonction de l'espèce, du genre de celles qui ont été proposées pour l'Homme.

Voici, d'après Leitch et Thompson, deux exemples d'un tel calcul dans le cas de vaches laitières au pâturage ou en stabulation produisant 18,1 kg de lait et placées dans des conditions de température modérée.

1° Les éléments du calcul sont les suivants :

	PATURAGE	STABULATION
<i>Facteurs dépendant du rationnement :</i>	(k)	(k)
matière sèche de la ration.	11,4	11,7
matière sèche digestible.	7,6	8,8
indigestible	3,8	2,9
protéines digestibles	1,5	2,6
Énergie métabolisable . . .	33.244 cal	40.734 cal
<i>Recettes d'eau :</i>		
eau des aliments	1,7	46,7
eau métabolique	4,4	4,9
Total	6,1	51,6

	PATURAGE	STABU- LATION
<i>Pertes d'eau :</i>	(k)	(k)
eau des fèces $3,8 \times 5...$	19,0	14,5
eau de l'urine	10,0	17,7
eau d'évaporation, 40 % de la chaleur pro- venant de 80 % de l'énergie métabolisable	18,8	20,0
eau du lait : $18,1 \times 0,87$	15,7	15,7
Total des sorties	63,5	67,9
<i>Eau des aliments et eau métabolique</i>	-6,1	-51,6
<i>Eau d'abreuvement</i>	57,4	16,3

Le rapport de l'eau ingérée (diminuée de la quantité d'eau perdue par le lait) à la matière sèche des aliments est voisine dans les deux cas, respectivement : 3,8 et 4.

Les données pratiques concernant les besoins d'eau des animaux domestiques peuvent être résumées de la manière suivante en insistant sur les assez rares renseignements concernant l'abreuvement dans les contrées chaudes (63).

Bovins.

En milieu tempéré on compte pour les bovins de boucherie de deux ans un minimum de 45 litres par tête ou 8-9 litres p. 100 kg.

Cette quantité peut être insuffisante si les animaux ont un long trajet à effectuer pour atteindre le lieu d'abreuvement.

La nature du régime influence la consommation d'eau : les rations dont la relation nutritive est étroite entraînent à une consommation d'eau plus élevée que les rations à relation nutritive plus large (64).

Pour les vaches sèches et laitières médiocres les quantités d'eau sont du même ordre de grandeur : 30 à 65 litres suivant la taille, l'alimentation et la quantité de lait produite (65).

Les vaches produisant 45 kg de lait boivent 135 litres d'eau. On compte, avec l'eau des aliments, 4 à 5,5 kg d'eau par kg de lait ou 1,5-2 litres d'eau d'abreuvement par kg de lait.

La température ambiante a une influence considérable sur les besoins d'eau. En passant de 11-17° C à 23-30° C, la consommation d'eau double (Wood-

ward et Mc Nulty, Larsen, Hungerford et Bailey), d'après Leitch et Thompson.

Modalités d'abreuvement.

Les vaches laitières abreuvées une seule fois par jour perdent du poids tandis que celles qui sont abreuvées au moins deux fois gagnent du poids, mais la production laitière n'est pas modifiée (Larsen, Hungerford et Bailey, d'après Leitch et Thompson).

Le rendement en matière grasse est de 5,59 plus élevé quand l'eau est donnée *ad libitum* par rapport au rendement lorsque l'abreuvement a lieu deux fois par jour (Mc Ewan et Graham, d'après Leitch et Thompson).

Les veaux de moins de 8 semaines boivent peu d'eau s'ils consomment du lait écrémé; plus tard la consommation d'eau s'accroît rapidement.

Semaines	Litres
4	0,030
6	0,225
8	0,990
10	1,935
12	2,970
16	5,805
20	8,100
26	15,030 (66)

Même s'ils reçoivent du lait écrémé, les veaux profitent d'un supplément d'eau :

Dans une expérience de la Station du Wisconsin, des veaux reçoivent 6,300 kg de lait écrémé par jour, ceux qui peuvent s'abreuver deux fois par jour gagnent environ 810 g, ceux qui ne le peuvent gagnent seulement 612 g (67).

Moutons.

La consommation d'eau du mouton est très variable suivant les conditions d'existence.

Sur un pâturage jeune et dans les régions tempérées, le mouton peut se passer d'eau en nature, mais la croissance est améliorée par la distribution d'eau tous les deux jours ou tous les jours (68).

Sur un pâturage ordinaire la consommation est de 3,5-4 litres par temps frais, 5-6 litres par temps chaud.

Morrison recommande de toujours mettre de l'eau à la disposition des moutons.

En stabulation, on compte en moyenne 2 litres d'eau par kg d'aliments secs; les chiffres suivants ont été relevés :

foin de luzerne et grains	2,30 l
foin de trèfle, racines et grains	0,85 l
foin de trèfle et grains	0,63 l
foin de luzerne et betterave sucrière	0,13 l

La gestation entraîne un accroissement de la consommation d'eau.

Ex. : régime de navets, foin haché, paille, farines :

	Valeur du rapport	Eau ingérée mat. sèche
gestation, ration de production	2,5*	3,9
gestation, ration d'entretien	2,22**	5,1
brebis non gestantes..	2,2	—

* début de la gestation; ** fin de la gestation.

Pour les brebis qui allaitent on compte un supplément de 30 à 50 %.

L'accroissement des besoins d'eau n'est pas très marqué pour les températures modérées.

Moutons de 30 kg recevant 300 g de foin et 550 g de son de maïs :

pour une température extérieure de 21,5° C,

7,65 heures de soleil : 1,15-1,23 litres;

pour une température extérieure de 26° C,

8,96 heures de soleil : 1,33-1,50 litres.

(voir aussi 69).

Porcs.

Les quantités d'eau consommées par 100 kg de poids passent de 12 kg au sevrage à 4 kg durant la période d'engraissement.

Crowther recommande un rapport de 3 parties d'eau pour 1 partie d'aliments secs au sevrage jusqu'à 6-8 semaines puis une quantité moindre, le rapport descendant à égalité jusqu'à la fin de l'engraissement.

Les truies portières boivent 3,6 litres à 5,4 litres; pendant l'allaitement, la quantité s'élève à 18-22,5 litres.

Nous n'avons pas trouvé de renseignements sur les besoins d'eau en fonction d'une température extérieure élevée.

Cheval.

Les quantités moyennes d'eau pour l'adulte sont de 36 à 45 litres ou 2,3 litres par kg de matière sèche de la ration.

Par temps chaud et en cas de travail musculaire, le cheval doit être abreuvé fréquemment et à volonté.

Les recherches anciennes mais très précises de Grandeau et Leclerc (70), effectuées sur les chevaux de la Compagnie des Petites Voitures à Paris, mettent en évidence l'importance de la perte de poids due en grande partie à l'évaporation d'eau pendant le travail musculaire.

Un déplacement au pas durant 148 minutes s'accompagne de la perte de 1.035 g; au trot attelé, la perte est de 4.185 g au bout de 79 minutes. Pour un travail déterminé, la perte est deux fois plus élevée à l'allure du trot qu'à l'allure du pas.

Volailles.

La consommation d'eau varie de 0,070 ml à 0,175 ml par gramme de poids.

Leitch et Thompson rapportent les chiffres suivants, d'après Crowther, pour le leghorn blanc :

1 ^{er} mois	12 g
3 ^e mois	80 g
5 ^e mois	60-75 g

Pendant la ponte, on compte deux fois le poids sec des aliments et, par œuf pondu, deux fois son poids d'eau, soit en moyenne :

$$85 \times 2 + 40 \times 2 = 250 \text{ g}$$

D'après Heywang (71), la consommation d'eau, en un an, de deux groupes de leghorn pondeuses de 1.556 et 1.620 g s'est élevée à 81,8 et 82,5 litres d'eau et pour des rhode island de 2.300-2.500 g, à 89,2-89,4 litres (voir aussi 72).

Camélidés.

Le cas du chameau et du dromadaire, si résistants à la température ambiante élevée, à la privation d'eau et au jeûne malgré un travail musculaire important, a de tous temps soulevé la curiosité, mais ne paraît pas avoir donné lieu à une expérimentation systématique (73).

Nous avons déjà signalé que la quantité d'eau qui peut être mise en réserve dans les diverticules du rumen est relativement faible puisqu'elle ne dépasse pas 2 % du poids du corps (15 à 20 litres pour un chameau de 500 kg). Plus importante est l'utilisation de l'eau métabolique provenant des réserves de lipides de l'organisme et de la ou des bosses, eau endogène que l'on peut estimer à 45 kg pour un sujet de poids moyen.

Pendant les déplacements, l'alimentation peu abondante est pauvre en protides et riche en glucides ce qui diminue la quantité d'urée formée (74) et rend possible une diminution de la quantité d'urine. Les fèces sont également pauvres en eau et la sudation est très réduite (75).

Il ne faut pas négliger non plus la possibilité d'une mise en réserve d'eau dans le tissu conjonctif sous-cutané.

VI. — LES RÉPERCUSSIONS DE L'ABREUVEMENT SUR LES PRODUCTIONS ANIMALES

Les répercussions que l'abreuvement peut exercer sur les productions animales sont très variées.

Nous ne ferons que rappeler les inconvénients que l'abreuvement, normal quant à la quantité, peut causer du fait des substances que l'eau contient

ou dont parfois elle manque, ou du fait des organismes dont elle peut être le vecteur.

La composition minérale de l'eau de boisson est directement influencée par les sols dont elle provient et qu'elle a traversés. Cette considération est particulièrement importante dans le cas des sels de calcium. Ce rôle indirect de l'eau dans la nutrition est encore accru du fait que la nature de la végétation et sa minéralisation sont influencées par la nature du sol de sorte que, en l'absence d'apports extérieurs : amendements et engrais, l'alimentation minérale des herbivores, notamment en calcium, est étroitement dépendante de la minéralisation de l'eau.

On a discuté, dans le cas des animaux domestiques, les inconvénients de la consommation d'eau très minéralisée; il ne semble pas que des dangers particuliers puissent résulter de la consommation d'eaux saumâtres, sous réserve qu'elles ne contiennent pas de substances toxiques.

De ce point de vue, on connaît les graves inconvénients que présentent les eaux riches en fluor du fait de leur origine naturelle ou du fait des contaminations dont elles peuvent être l'objet. Cette dernière cause d'altération de l'eau d'abreuvement s'applique à nombre de substances toxiques d'origine industrielle qui sont souvent généreusement et imprudemment déversées dans les eaux.

A l'opposé de ces inconvénients par excès, il faut citer les carences minérales des eaux : carence de calcium, carence d'iode, qui compromettent l'élevage dans certaines régions.

La présence de matières organiques dans les eaux d'alimentation est par elle-même sans danger, mais elle est souvent le témoin de contaminations microbiennes; celles-ci peuvent résulter d'infiltrations ou de contamination par les cadavres de petits animaux ou encore de la pollution, par les urines ou les fèces, des points d'abreuvement trop exigus par rapport à la population animale. Pour des raisons analogues, l'eau d'abreuvement peut jouer un rôle capital dans les infestations parasitaires.

Les conséquences de ces propriétés naturelles ou acquises de l'eau sont variées.

La carence de matières minérales nutritives peut avoir des répercussions graves sur les productions animales; carence d'iode et fertilité ou croissance; carence calcique et développement du squelette.

L'excès de fluor est à l'origine de lésions osseuses graves (*darmous*).

Les contaminations parasitaires ou microbiennes véhiculées par l'eau n'atteignent pas spécifiquement une production déterminée mais elles peuvent les compromettre indirectement du fait des affections aiguës ou chroniques dont elles sont la cause.

Nous n'insisterons pas sur ces considérations d'hygiène générale dans lesquelles l'eau joue un rôle passif.

Les inconvénients propres de l'eau sont liés soit à un abreuvement excessif, soit à un abreuvement insuffisant.

L'excès d'abreuvement se produit rarement chez l'animal dans les conditions naturelles; la sensation de soif règle en effet la consommation d'eau d'une manière plus précise que l'appétit ne règle l'ingestion d'aliments.

L'ingestion d'une quantité excessive d'eau peut résulter d'un excès d'élimination ou d'un défaut de rétention comme cela se produit dans le diabète insipide dont on connaît quelques exemples dans les espèces animales; mais, dans cette circonstance, il n'y a pas accumulation d'eau dans l'organisme et le bilan hydrique reste positif.

La consommation excessive d'eau peut avoir pour origine une restriction préalable d'eau. On dit que l'âne et le chameau assoiffés peuvent ingérer spontanément de grandes quantités d'eau : 12 % de son poids dans le cas de l'âne, 100 litres dans le cas du chameau; cette inondation de l'organisme se traduirait par l'apparition d'œdème sous-cutané.

L'ingestion de grandes quantités d'eau peut être la cause de troubles digestifs notamment chez les herbivores. Chez les polygastriques assoiffés, le réflexe de fermeture de la gouttière œsophagienne peut se réveiller et l'eau ingérée passe alors directement dans la caillette et l'intestin produisant l'indigestion d'eau; des indigestions d'eau s'observent aussi chez le cheval.

L'abreuvement des animaux assoiffés pour quelque raison que ce soit doit donc être surveillé.

L'ingestion, chez l'animal normal, d'une quantité d'eau supérieure aux besoins s'accompagne d'une augmentation du volume urinaire; l'urine est plus diluée, mais on peut observer, au moins au début de la diurèse, un léger accroissement de l'élimination des composés azotés résultant d'un lavage tissulaire plutôt que d'une stimulation du métabolisme azoté.

D'après certains auteurs (76) il serait possible de provoquer une véritable intoxication aqueuse par simple administration d'eau, avec nausées, vomissements, salivation, convulsions, coma et mort; accidents qui sont facilement obtenus par l'administration d'aquamédine et d'eau.

L'augmentation de l'abreuvement ne modifie pas la teneur du lait en eau; le « mouillage au ventre » n'est pas reconnu comme explication valable du mouillage du lait.

Quant à la quantité de lait produite elle ne dépend pas de la quantité d'eau ingérée à partir du moment

où l'organisme dispose de la quantité d'eau nécessaire pour satisfaire l'activité fonctionnelle de la glande mammaire; en d'autres termes, la glande mammaire ne fonctionne pas, de ce point de vue, comme le rein. Toutefois, chez les vaches grandes laitières, l'abreuvement automatique qui permet à l'animal d'ingérer en temps opportun les quantités d'eau dont il a besoin accroît le rendement laitier de 3,5 à 4 % par rapport aux animaux abreuvés deux fois et de 6 à 11 % par rapport aux animaux abreuvés une seule fois dans la journée.

Les effets de l'insuffisance d'abreuvement sont plus fréquents et plus graves; ils peuvent résulter d'une insuffisance aiguë, occasionnelle ou d'une insuffisance chronique.

L'insuffisance aiguë se produit quand un animal est privé d'eau pendant une courte période par défaut d'abreuvement simple ou quand une perte excessive d'eau causée par la couverture des besoins de la régulation thermique n'est pas compensée.

Cette forme d'insuffisance aiguë s'accompagne, dans les espèces qui transpirent, d'une perte de chlorure de sodium qui donne à la déshydratation un caractère plus complexe que chez les animaux chez lesquels l'évaporation d'eau se fait exclusivement ou principalement par la voie pulmonaire.

Ces accidents ont été étudiés expérimentalement d'une manière très soignée en vue de leur prévention chez l'Homme dans les régions tropicales et subtropicales (77) et il est bien admis maintenant que la déshydratation par sudation ne peut être compensée d'une manière utile par la simple consommation d'eau mais qu'elle exige la consommation de sel. Sur ce point, voir en particulier (78).

Des accidents aigus de ce genre peuvent être observés chez le cheval à l'occasion d'un travail musculaire important en région chaude. Le comportement des mécanismes régulateurs de la température chez le cheval et chez l'homme étant assez voisins, les mêmes règles générales qui se montrent rationnelles chez le second pourraient être appliquées au premier.

Noter que chez le cheval la sudation s'accompagne d'une perte de protéines qui mériterait d'être prise en considération.

Il conviendrait de reprendre dans les espèces animales qui transpirent (mouton par exemple) l'étude de l'agressivité du climat tropical par la mesure de la perte de sel comme G. Pille l'a fait pour l'homme soit en faisant le bilan du sel (sel ingéré - sel éliminé par l'urine) soit par une méthode indirecte, en définissant une relation entre le déclenchement de la sudation continue et la température et le degré hygrométrique.

L'insuffisance chronique d'eau, moins grave dans

ses manifestations immédiates l'est plus dans ses conséquences secondes et lointaines.

La rareté de l'eau d'abreuvement peut être la cause de déplacements fatigants pour l'animal qui aggravent sa condition; elle peut le conduire à la consommation d'eau trop minéralisée qui n'éteint pas la soif, ou d'eaux contaminées. On a signalé dans ces conditions (Steyne et Reinach, d'après Leitch et Thompson) des accidents graves: diarrhée, vomissements (même chez les ruminants), contractures musculaires, mort subite. D'autre part, la pénurie d'eau est généralement accompagnée d'une réduction de la végétation et d'une diminution sensible de la teneur des herbes de pâturage en eau.

La pénurie chronique d'eau entraîne dans toutes les espèces la réduction du volume des sécrétions digestives, cause d'anorexie; elle est fréquemment à l'origine de troubles de la rumination.

Elle entraîne aussi une réduction de toutes les formes d'élimination aqueuse, sorte d'économie de défense, réduction dont l'importance est en raison inverse de la nécessité de l'élimination ou du contrôle que l'organisme exerce sur elle.

On peut admettre que l'élimination cutanée par perspiration et l'élimination pulmonaire basale ne sont pas modifiées car elles ne sont pas sous le contrôle direct des mécanismes régulateurs.

La sécrétion sudorale et l'évaporation pulmonaire sont prioritaires et pourront entraîner des réactions de déshydratation graves ou au contraire être compromises et rendre l'animal incapable de subsister.

La réduction d'eau des fèces résulte d'une résorption intestinale accrue qui peut conduire à la constipation chronique.

La réduction du volume urinaire, conséquence d'une réabsorption tubulaire plus intense s'accompagne de la concentration de l'urine et peut conduire à la formation de calculs.

Mais il est évident *a priori* que les exportations d'eau qui constituent une sorte de dépense de luxe seront également réduites; c'est ce qui se passe pour la sécrétion lactée surtout quand elle est développée à un degré anormal. L'abreuvement constitue alors un facteur limitant dont l'effet sera d'autant plus marqué que la production et la température seront plus élevées, c'est-à-dire que l'animal vivra dans un climat plus chaud et qu'il sera moins adapté, moins acclimaté ou insuffisamment protégé contre les effets de la température.

La lactation accroît le besoin d'eau, non seulement du fait de la présence d'une grande quantité d'eau dans le lait mais aussi parce que l'élaboration des constituants du lait entraîne une augmentation de la consommation de matériaux nutritifs. L'accroissement de la quantité de déchets azotés entraîne une

augmentation de l'eau urinaire et l'accroissement de la quantité d'énergie métabolisée est corrélative d'une augmentation de la quantité d'extra-chaleur à éliminer, d'où une augmentation de la consommation d'eau utilisée pour la régulation thermique et, dans le cas où celle-ci se fait par évaporation pulmonaire (ruminants par exemple), le travail musculaire nécessité par la ventilation accrue est encore à l'origine de la production de chaleur (79).

Les observations concernant l'influence de la température extérieure sur la sécrétion lactée mettent en évidence une augmentation du taux de la matière grasse et en général une diminution de la quantité de lait sécrété (80).

Il est remarquable que chez beaucoup de mammifères des déserts les périodes de reproduction coïncident avec les périodes où l'humidité est la plus élevée et la végétation la plus abondante; cette augmentation de la végétation ne signifie pas seulement une augmentation de la quantité de matériaux nutritifs disponibles mais aussi une augmentation de la quantité d'eau apportée par les aliments.

Par contre, les animaux du désert chez lesquels la régulation thermique est peu influencée par les apports exogènes d'eau, comme c'est le cas pour le rat-kangourou, ont des petits à toute époque de l'année, même pendant la saison sèche durant laquelle l'eau est rare ou fait défaut et les aliments secs sont seuls disponibles.

On peut admettre *a priori* que l'engraissement sera compromis dans les pays chauds par le régime de l'abreuvement si l'on se souvient du rôle de l'eau métabolique et de son origine lipidique.

Il est peu vraisemblable que la seule insuffisance d'eau, en dehors des autres facteurs qui sont simultanément en jeu : température ambiante, modification de la quantité et de la qualité de l'alimentation influence l'élaboration des gamètes ou la gestation. L'insuffisance d'eau peut par contre exercer une influence défavorable durant l'allaitement et surtout après le sevrage quand le jeune est privé de la

protection maternelle et qu'il doit fixer de l'eau dans les tissus qu'il forme.

Dans les régions chaudes où l'abreuvement est limité aux ressources locales, la croissance est saisonnière et elle est plus influencée par le régime des pluies que par les autres conditions d'environnement (81).

Le problème de l'abreuvement met en conflit les besoins physiologiques de base de l'organisme et les besoins résultant du maintien de l'homéostasie hydrominérale et thermique d'une part et les besoins de production d'autre part.

C'est un des problèmes les plus importants posés par l'élevage dans les régions tropicales et subtropicales, non seulement en ce qui concerne l'acclimatement des races spécialisées originaires de régions tempérées mais aussi en ce qui concerne l'exploitation rationnelle des races autochtones (82).

Ce problème présente deux aspects : le premier qui est fondamental est relatif au ravitaillement en eau; ce problème est du ressort du génie rural. Le second aspect concerne l'économie de l'eau chez l'animal, il est du ressort du physiologiste et du zootechnicien. Il tire son importance du fait que « la mise en jeu des réactions thermolytiques déclenche une véritable concurrence pour l'eau disponible entre les diverses fonctions... la thermolyse massive entraîne rapidement une perte de l'efficacité de toutes les régulations (84) » et, de ce fait, compromet à des degrés divers toutes les productions.

Le problème de l'économie de l'eau chez les animaux domestiques vivant dans les régions chaudes du globe mériterait d'être repris tant sur le plan de l'observation que sur celui de l'expérimentation en tenant compte des particularités du bilan hydrique et du mécanisme de la régulation thermique dans les diverses espèces animales, particularités qui interdisent la simple extrapolation à l'animal des résultats obtenus dans l'espèce humaine.

NOTES

(1) Teneur en eau de l'embryon de porc :

Longueur (mm)	Poids moyen (g)	Eau (%)
2 à 4		97,40
6 à 7	0,313	94,07
10	0,500	93,37
15	0,930	91,38
30	2,210	91,14
50	6,550	91,65
60	14,850	91,05
80	26,000	91,59
100	72,200	91,18
110	82,000	91,02
120	96,200	91,26
160	238,570	91,71
200	484,000	90,34
240	725,000	88,70

[WILKERSON (V.-A.) and GORTNER (R.-A.). — **The chemistry of embryonic growth. III. A biochemical study of the embryonic growth of the pig with special reference to nitrogenous compounds.** *Am. J. Physiol.*, 1932, 102, 153-166].

Embryon de bœuf de 185 jours : 85 % ; à la naissance 75,8 % , à 3 mois, suivant le degré d'engraissement : 71,5 à 66,3 % .

(2) Bœuf de 4 ans ; très gras : 39,84 ; moyennement gras : 52,7 ; maigre : 58.

(2) La teneur du tissu adipeux en eau varie avec l'espèce animale ; en moyenne : mouton, 10,5 ; bœuf, 10 ; porc, 6,44 ; dans une espèce donnée suivant la région du corps, par exemple, dans le cas du bœuf : graisse péri-rénale, 4,5 ; culotte, 14,4 ; suivant les conditions d'alimentation : ration d'entretien ; eau, 81,4, protéines, 9,6, graisse 4,6 ; ration d'engraissement : eau, 5,5, protéines, 1,7, graisse, 93,3.

(3) Chez le mouton, on a trouvé pour l'eau extra-cellulaire le taux de 30 % [HIX (E.-L.), EVANS (L.-E.) and UNDERBJERG (S.-K.-L.). — **Extracellular water and dehydration in sheep.** *J. anim. Sc.*, 1953, 12, 459-473].

(4) L'eau liée est celle qui est combinée aux constituants du protoplasma ou des humeurs par des liaisons physiques ou par des liaisons chimiques ; elle ne se sépare pas facilement par évaporation ou par congélation [cf. BLANCHARD (K.-C.). **Water free and bound.** *Cold Spring Harbor Symposia on quantitative biology*, 1940, 8, 1-8]. Chez les animaux supérieurs la proportion d'eau liée est négligeable vis-à-vis de l'eau libre et peut ne pas être prise en considération dans l'étude des propriétés physiques et des mouvements de l'eau.

(5) GAMBLE, (J.-L.). **Constitution chimique, physiologie et pathologie du liquide extra-cellulaire.** Trad. de F. A. Velay, Paris, 1948, G. Doin et Cie. — ADOLPH (E.-F.). **The metabolism and distribution of water in body and tissues.** *Physiol. Rev.*, 1933, 13, 336-371.

(6) DORSEY (N.-E.). — **Properties of ordinary water substance.** *Amer. chem. Soc., Monographs*, 1940, n° 81.

(7) Nous préférons, dans le cas de l'eau (et des matières minérales), le terme « transit » ou « traversées » à celui de métabolisme, du fait que ces substances ne subissent dans l'organisme que des modifications minimales ou nulles au contraire des nutriments organiques qui sont effectivement l'objet de changements de structure et auxquels le terme « métabolisme » s'applique correctement.

(8) L'étude des échanges d'eau au moyen des isotopes de l'hydrogène (deutérium et tritium) montre que les transports sont extrêmement rapides HD 0 et HT 0 introduits dans le sang sont en équilibre à 98 % avec les liquides extra-vasculaires dans l'espace d'une heure [PINSON (E.-A.). **Water exchanges and barriers as studied by the use of hydrogen isotopes.** *Physiol. Rev.*, 1952, 32, 123-134].

(9) PETERS (J.-P.). **Water exchange.** *Physiol. Rev.*, 1944, 24, 491-531.

(10) USSIG (H.-H.). **Transfer of ions across cellular membrane.** *Physiol. Rev.*, 1949, 29, 127-155.

(11) Au cours de l'inanition un animal peut perdre pratiquement tout son glycogène et sa matière grasse, la moitié de ses protéines, 40 % de son poids total et cependant survivre, tandis que la perte de 10 % de l'eau de son corps entraîne des troubles graves et qu'une perte de 20-22 % cause la mort (M. RUBNER).

(12) FLEMISTER (L.-J.). **Distribution of available water in the animal body.** *Am. J. Physiol.*, 1941-42, 135, 430-438.

(13) L'importance du tissu musculaire et de la peau comme réservoirs d'eau est mise en évidence par la répartition de l'eau dans les divers territoires quand elle est introduite sous forme d'une solution de chlorure de sodium isotonique dans la circulation. Les chiffres du tableau suivant concernent la répartition de l'eau dans les tissus d'un chien ayant reçu par voie intraveineuse 1.200 ml d'eau salée à 6 pour mille. D'après M. POLONOWSKI. *Biochimie médicale*, 5^e éd., Paris, 1952, Masson et Cie, p. 528,

TISSU	ORGANISME total	TENEUR EN EAU		DIFFÉRENCE	ABSOLUE
		normale	après		
	%	%	%	%	g
Os	15	34,45	33,66	-0,79	—
Sang	7	77,98	79,90	1,92	12
Intestin	2	77,89	78,51	0,63	16
Cerveau	2,5	76,25	78,25	2,00	8
Reins	0,5	77,82	81,05	3,23	10
Poumons.....	0,15	78,98	80,71	1,73	14
Foie	3,0	70,79	73,18	2,39	21
Peau	8,0	62,86	67,73	3,87	126
Muscles	35,0	73,53	77,39	3,86	482

(14).

	GLUCIDES (amidon)	LIPIDES	PROTIDES (2)
Litres d'oxygène consommés par gramme d'aliment (4)	0,828	2,019	0,967
Grammes d'eau formée par gramme d'aliment (5)	0,556 (1)	1,071	0,396 (3)
Litres d'oxygène consommés par gramme d'eau formée	1,489	1,885	2,441
Grammes d'eau formée par litre d'oxygène consommé	0,671	0,530	0,410
Calories par gramme d'aliment (4)....	4,182	9,461	4,316
Grammes d'eau formée par calorie....	0,133	0,113	0,092
Litres d'oxygène consommés par calorie.	0,198	0,213	0,224

(1) Dans le cas du glucose, 0,600; dans le cas de l'alcool, 0,117.

(2) *In vivo*, compte tenu de la formation d'urée.

(3) Si l'acide urique est le produit d'excrétion principal, 0,530; si c'est l'ammoniac, 0,320.

(4) PUSK (G.). — *The elements of the science of nutrition*. Philadelphia, 1928, Saunders.

(5) PETERS (J.-P.). — *Body water. The exchange of fluid in man*. Springfield, 1935, Thomas.

(15) Sur le problème de l'eau métabolique [cf. BABCOCK (S.-M.). **Metabolic water; its production and role in vital phenomena.** *Univ. Wisconsin, Agric. exper. Station Research Bull.*, n° 22, mars 1912, p. 181].

(16) Cette formule est établie de la manière suivante par PETERS, KYDD et LAVIETES (*) à partir de la formule de NEWBURGH et JOHNSTON (**).

a) Perte insensible de poids (IL) = $P_1 - P_2 + p_i - p_e$. IL : insensible loss ; P_1 : poids initial, P_2 : poids final ; p_i : poids des ingesta ; p_e : poids des excreta.

b) Perte insensible d'eau (IP) = $IL + O_2 - CO_2$.

c) Bilan d'eau = $(H_2O_i - H_2O_e) + (H_2O_{ox} - IP)$.

H_2O_i : eau des ingesta ; H_2O_e : eau des excreta ; H_2O_{ox} : eau métabolique.

d) Bilan d'eau = $(P_2 - P_1) + (P_e - P_i) + (H_2O_i - H_2O_e) + H_2O_{ox} - O_2 + CO_2$.

H_2O_{ox} est obtenu en multipliant le poids des glucides, des lipides et des protides respectivement par 1, 1 et 0,49 :

1 g lipides + 2,89 O_2 = 2,81 CO_2 + 1,07 H_2O d'où 1 g lipides = 1,07 - 2,89 + 2,81 = 1 ;

1 g glucides + 1,14 O_2 = 1,55 CO_2 + 0,6 H_2O d'où 1 g glucides = 0,60 - 1,14 + 1,55 = 1 ;

1 g protides + 1,40 O_2 = 1,48 CO_2 + 0,41 H_2O d'où 1 g protides = 0,41 - 1,40 + 1,48 = 0,49.

e) Bilan d'eau = $(P_1 - P_2) + (\text{excreta} - \text{ingesta}) + 1 \text{ Gl.} + 0,49 \text{ Pr.} + 1 \text{ Lip.}$

(*) PETERS (P.), KYDD (D.-M.) and LAVIETES (P.-H.). A note on the calculation of water exchange. *J. clin. Invest.*, 1933, 12, 689-693.

(**) NEWBURGH (L.-H.) and JOHNSTON (M.-W.). Measurement of total water exchange. *J. clin. Invest.*, 1929-30, 8, 161.

(17) Voir la note page 198.

(18).

ESÈCE ANIMALE	POIDS de matières fécales (Kg/24 h.)	TENEUR MOYENNE des fèces en eau %
Cheval	15 — 23	75
Bovins :		
entretien	13 — 35	78
engraissement	40 — 45	81
vache sèche	13 — 35	82
vache laitière	13 — 35	84
Mouton	1 — 3	68
Porc	05 — 3	80
Volailles	0,025 — 0,075	75

(19) Chez les herbivores, le volume urinaire paraît déterminé plus par la quantité des déchets carbonés que par celle des déchets azotés.

(20) L'urine des oiseaux est normalement éliminée sous forme d'une masse pâteuse plus ou moins mélangée aux fèces. L'urine telle qu'éliminée par le rein est liquide ; sa concentration se produit pour certains expérimentateurs dans le cloaque, pour d'autres dans le rectum. Cette concentration réalise une économie d'eau considérable dont la réalité est mise en évidence par l'accroissement considérable de la consommation d'eau par les volailles dont les uretères sont abouchés à la peau.

(21) Densité de l'urine dans quelques espèces animales :

chameau	1,050	1,045 — 1,056
cheval	1,040	1,025 — 1,060
bœuf	1,032	1,030 — 1,045
mouton, chèvre	1,030	1,015 — 1,045
chien	1,025	1,016 — 1,060
porc	1,012	1,010 — 1,050
homme	1,020	1,010 — 1,030

(17) RITZMAN (E.-G.) and BENEDICT (F. G.). *Nutritional physiology of the adult ruminant.* — *Carnegie Institution Washington*, Publ. n° 494, 1938 (d'après Leitch et Thompson).

NOMBRE d'animaux	RACES ET RATIONS	ENTRÉES D'EAU				SORTIES D'EAU					
		Boisson	Aliments	Métabolique	Total	Fèces	Urine	Vapori- sation	Lait	Total	Bilan
	<i>Holstein.</i>										
11	Foin de graminées (fléole)	26,31	1,07	2,18	29,56	13,15	5,76	11,23	—	30,12	— 0,56
10	Foin de légumineuses (luzerne) ..	25,67	1,11	2,35	29,13	12,10	6,59	10,43	—	29,12	+ 0,01
2	Tourteau de lin, son	16,68	0,51	1,60	18,79	3,39	7,56	7,14	—	18,09	+ 0,70
2	Farine de maïs	11,15	0,65	2,00	13,80	1,82	2,92	9,24	—	13,98	— 0,18
	<i>Jerseyaises.</i>										
2	Foin d'avoine	20,31	0,83	2,10	23,24	8,80	4,98	9,22	—	23,00	+ 0,24
9	Foin de légumineuses.....	22,55	0,90	1,95	25,40	11,74	5,43	7,90	—	25,07	+ 0,33
1	Tourteau de lin, son.....	11,70	0,39	1,30	13,39	2,43	6,76	5,34	—	14,53	— 1,14
1	Tourteau de lin	9,62	0,31	1,02	10,95	2,16	4,23	4,60	—	10,99	— 0,04
2	Farine de maïs	5,58	0,45	1,42	7,55	1,13	2,00	4,61	—	7,74	— 0,19
	<i>Vaches laitières Holstein.</i>										
1	Foin de luzerne	51,60	2,30	3,10	57,00	18,60	10,50	13,74	12,00	54,84	+ 2,16
1	Foin de soja	52,92	2,96	3,74	58,62	25,94	8,84	13,50	10,41	58,29	+ 0,33
2	Foin, grains, ensilage	39,21	11,90	2,80	53,91	22,21	8,99	14,72	9,42	55,34	+ 0,57
	<i>Jerseyaise.</i>										
1	Foin de luzerne	53,70	1,40	2,80	57,90	25,30	10,30	13,70	10,20	59,50	— 1,60

(22) Espèce animale :	voi. urinaire moyen	extrêmes
	1, 24 h.	1
cheval	4,7	2 — 11
bovins (*) :		
entretien	6,0	5 — 7
engraissement	9,0	4 — 14
vache sèche	5,0	2 — 8
vache laitière	7,0	5 — 11
mouton, chèvre	1,0	0,5 — 2,0
porc	4,0	2,0 — 6,0
poule	0,1	0,05 — 0,18

(*) Voir table 5 in LEITCH et THOMPSON.

(23) Sur la régulation de la température corporelle cf. outre les traités classiques de Physiologie : BAZETT (H.-C.). **The regulation of body temperature in NEWBURGH (L.-H.). Physiology of heat regulation and the science of clothing.** Philadelphie et Londres, 1949, W.-B. Saunders et Cie, chap. 4, pp. 109-192; sur l'adaptation aux températures élevées, Sid ROBINSON, **Physiological adaptations to heat.** *id.*, chap. 5, pp. 193-231.

(24) PINSON (E.-A.). **Evaporation from human skin with sweat glands inactivated.** *Amer. J. Physiol.*, 1942, 137, 492-503. — WHITEHOUSE (A.-A.-R.), HANCOCK (W.), and HALDANE (J.-S.). **The osmotic passage of water and gases through the human skin.** *Proc. Roy. Soc. London (B.)* 1932, 111, 412-429.

Osborne compare le tégument à un gel en équilibre avec l'air humide qui se gonfle et rend l'épiderme meilleur conducteur de la chaleur. OSBORNE (W.-A.). **Some new aspects of the function of the skin in temperature regulation.** *J. Physiol.*, 1922, 57, XXVI, Proc.

(25) Perte d'eau par vaporisation dans quelques espèces animales. — D'après NEWBURGH (L.-H.) and JOHNSTON (M.-W.). **The insensible loss of water.** *Physiol. Rev.*, 1942, 22, 1-18.

ESPÈCE	CONDITION	TEMPÉRATURE ambiante (°C)	PERTE PAR VAPORISATION % des pertes totales		RÉFÉRENCE
			extrêmes	moyenne	
Rat	à jeun	25-31	20,6-26,8	23,8	Grene et Line.
Souris	—	28	—	18	Benedict et Lee.
Lapin		28-29	17,7-29,7	24,6	Lee.
Oie		16-29	15-40	16	Benedict et Lee.
Vache		16,9-23,2 8,5-9,8	17-34 14-15	26,1	Ritzman et Benedict (1).
Taureau	tondu	24,5	22,3-37,3 26,7-34	27,6 30,8	Kriss (2).
Chien		25	...	24,4	Mitchell (3).
Éléphant		20,0-24,7	17,2-19,1	18,3	Rübner.
Volailles	10-25	17	Benedict. Dukes.

(1) *Carnegie Institution Washington*. Publ. n° 494, 1938.

(2) *Amer. J. Physiol.*, 1936, 116, 264.

(3) *Jl. Agric. Res.*, 1936, 52, 837.

(26) Relation entre la perte de chaleur par vaporisation, l'émission totale de chaleur et le niveau métabolique (*).

ÉNERGIE métabolisable (Cal.)	CHALEUR émise ou produite (Cal.)	EAU VAPORISÉE (Kg)
Vaché sèche :		
17,371	14,116	11,23
13,640	11,415	6,19
7,195	8,345	4,60
Vache en lactation :		
17,978	11,049	4,48
30,050	22,817	16,78
9,374	8,627	3,14

PERTE DE POIDS insensible (Kg)	CHALEUR PERDUE par vaporisation (Cal.)	Pour 100 de CHALEUR TOTALE	TEMPÉRATURE (°C)
Vaché sèche :			
12,99	6,446	45,7	22
7,50	3,553	31,1	21
5,40	2,640	21,5	21,5
Vache en lactation :			
7,2	2,633	23,8	
19,3	9,632	21,0	17-18
3,7	1,844	21,4	

(*) D'après LEITCH et THOMPSON, table 7. Voir aussi KRISS, (M.) **The influence of the plane of nutrition on the manner of heat disposal by cattle.** *Amer. J. Physiol.*, 1936, 116, 262-273, qui met en évidence un parallélisme entre le pourcentage de chaleur perdue, l'énergie métabolisable et l'eau consommée.

(27) Le taureau (à jeun ou non) tondu perd plus de chaleur par radiation et moins par évaporation quand la température s'élève; la proportion de chaleur perdue par évaporation atteint un niveau plus élevé chez le taureau à jeun, non tondu, que chez le taureau tondu (FORBES (E.-B.), BRAMAN (W.-W.), and KRISS (M.-J.). *Agric. Res.*, 1936, 33, 579).

Perte de chaleur par vaporisation d'eau chez le taureau (à jeun) tondu ou non (d'après LEITCH et THOMPSON, table 6).

QUANTITÉ DE CHALEUR (Cal.)	EAU VAPORISÉE (Kg)	CHALEUR PERDUE par évaporation		TEMPÉRATURE extérieure (°C)
		(Cal.)	(%)	
Toison normale :				
6,062	2,62	1,454	25,5	14,2
6,116	2,69	1,582	25,9	15,5
6,294	3,72	2,187	34,7	18,5
6,355	4,78	2,791	43,9	21,5
Tondu :				
8,260	2,39	1,410	17,1	13,7
7,766	2,51	2,475	19,0	15,7
7,517	2,64	1,551	20,6	18,3
6,715	3,02	1,766	26,3	22,0

(28) De *Medecina statica aphorisma*, sect. I, Aph., V. 1614. *Medecina statica being the Aphorisms of Sanctorius*, traduct. John Quincy, Londres, 1712, et Gr. Lusk, Nutrition, *Coll. Clio Medica.*, P.-B. Hoeber, New-York, 1933, pp. 26-29.

(29) Eau perdue par évaporation : Perte insensible de poids — $(CH_4 + O_2 - CO_2)$ Perte insensible de poids : $P_1 - P_2 + \text{Aliments} + \text{Eau} - (\text{fèces} + \text{urine})$.

(30) Dans des conditions expérimentales bien déterminées, la mesure de la perte insensible de poids permet d'estimer le métabolisme de base [Cf. MITCHELL (H.-H.) and HAMILTON (T.-S.). **The estimation of heat production of cattle from the insensible loss of body weight.** *J. Agric. Res.*, 1936, 52, 837-852].

(31) ADOLPH (E.-F.). **Tolerance to heat and dehydration in several species of Mammals.** *Amer. J. Physiol.*, 1947, 151, 564-575.

(32) Nous rappellerons seulement quelques particularités de la thermo-régulation dans les espèces animales domestiques.

On trouvera des renseignements assez détaillés dans LEITCH et THOMPSON et dans SCHMIDT-NIELSEN.

En ce qui concerne les bovins, signalons les recherches de BRODY et coll. publiées dans les bulletins de la *Station Agricole expérimentale de l'Université de Wisconsin* en 1948-1951 (bull. n^{os} 423, 425, 435, 436, 449, 450, 451, 460, 461, 464, 471, 473, 479, 481, 484). — Le travail de RIEK (R.-F.) and LEE (D.-H.-K.), **Reactions to hot atmospheres of Jersey cows in milk.** *J. dairy Res.*, 1948, 15, 219-226. — De KIEBLER (H.-H.) and BRODY (S.). **Influence of temperature 5° to 95° F on evaporating cooling from the respiratory and exterior body surfaces in Jersey and Holstein cows.** *Univ. Minnesota agric. exp. Stat. Res. bull.* n° 461, 1950.

Les pertes d'eau par évaporation cutanée dépassent les pertes par évaporation pulmonaire malgré la remarquable accélération respiratoire qui précède l'élévation de la température rectale dans une atmosphère chaude (RIEK et LEE). L'absence d'accélération du pouls et même sa tendance au ralentissement (REGAN et RICHARDSON, *J. dairy Sc.*, 1938, 21, 73) suggère qu'un accroissement de la conductibilité thermique des tissus superficiels par accroissement de la circulation sanguine n'est pas un facteur fondamental de l'adaptation du bétail aux températures élevées. Par contre l'accélération du rythme respiratoire conduit à penser qu'il s'agit là du mode principal d'adaptation. Cependant la comparaison de la quantité d'eau qui pourrait être évaporée par cette voie avec la quantité d'eau qui est effectivement perdue par l'animal montre que ce moyen est d'importance secondaire. L'accroissement de la ventilation pulmonaire est un indice de l'insuffisance de l'évaporation cutanée. Si l'on admet que la perspiration cutanée est relativement constante, la plus grande partie de la perte par évaporation en fonction de la température doit être attribuée à l'activité des glandes sudoripares.

Chez le lapin, qui ne possède pas de glandes sudoripares (EIMER), la perte d'eau par diffusion cutanée est importante et atteint 40 % de l'eau totale [KEATON (R.-W.), **The peripheral water loss in rabbits as a factor in heat regulation.** *Am. J. Physiol.*, 1924, 69, 307-317]. La perte par évaporation pulmonaire peut conduire à la polygnée thermique [LEE (D.-H.-K.), ROBINSON (K.) and HINES (J.-G.) **Reactions of rabbits to hot atmospheres.** *Proc. Roy. Soc. Queensland*, 1941, 53, 129-144]. A signaler encore la déperdition de chaleur par salivation et la perte de chaleur par radiation au niveau des oreilles.

(33) Le comportement du chien dans les régions désertiques a été l'objet de nombreuses études ; dans cette espèce la thermolyse est assurée par la vaporisation pulmonaire [DILL, (D.-B.). **Life, heat and altitude. Physiological effects of hot climates and great heights.** *Cambridge, Mass.*, 1938. — DILL (D.-B.), BOCK (A.-V.) and EDWARDS (N.-T.) **Mechanism of dissipating heat in man and dog.** *Amer. J. Physiol.*, 1933, 104, 36-43; etc.].

(34) La tolérance du mouton aux températures élevées est très bonne : une température de 43,3° C avec une humidité de 65 % est supportée pendant 7 heures. La thermolyse se fait par voie respiratoire (la fréquence respiratoire passe de 30 à 300), la polygnée thermique apparaît quand la température rectale atteint 41° C, mais la sudation joue un rôle important [LEE, (D.-H.-K.) and ROBINSON (K.). **Reactions of the sheep to hot atmospheres.** *Proc. Roy. Soc. Queensland*, 1941, 53, 189-200. — RIEK (R.-F.), HARDY (M.-H.), LEE (D.-H.-K.) and CARTER (H.-B.). **Effect of dietary plane upon reactions of two breeds of sheep during short exposures to hot environments.** *Austr. J. agric. Res.*, 1950, 1, 217-230].

(35) La régulation thermique chez le cheval et chez l'âne se fait par transpiration. Chez l'âne, au contraire du cheval, la sueur est pauvre en chlorure de sodium. [ADOLPH (E.-F.) and DILL (D.-B.) **Observations on water metabolism in the desert.** *Amer. J. Physiol.*, 1938, 123, 369-378. — DILL (L.-H.). **Life and altitude.** *Loc. cit.*].

(36) Chez l'homme, la thermolyse se fait principalement par la voie cutanée et par sudation qui peut atteindre 1,5 l/h; il n'y a pas indication d'un mécanisme pulmonaire [BAZETT (H.-C.). **Physiological response to heat.** *Physiol. Rev.*, 1927, 7, 531-599, p. 562]. Son comportement a donné lieu à un très grand nombre de recherches notamment : ADOLPH (E.-F.). **Water metabolism.** *Ann. Rev. Physiol.*, 1947, 9, 381-408. — ADOLPH (E.-F.) and ASSOC. **Physiology of man in the desert.** New-York, 1947, Interscience Publishers. — NEWBURGH (L.-H.). **Physiology of heat regulation and the Science of Clothing.** 1949, Londres et Philadelphie; W.-B. Saunders Co — DILL, *loc. cit.* 33).

On estime que, si l'homme est convenablement ravitaillé en eau et en sel, il est capable de résister facilement aux températures élevées; SCHOLANDER écrit que l'homme est un animal typique des tropiques [SCHOLANDER (P.-P.), HOCK (R.), JOHNSON (F.) and IRVING (L.). **Heat regulation in some arctic and tropical mammals and birds.** *Biol. Bull.*, 1950, 99, 237-257].

(37) Chez les oiseaux la vaporisation d'eau est relativement constante pour les températures extérieures comprises entre 5° et 30° C. Elle s'élève sensiblement pour les températures supérieures [BAROTT (H.-C.) and PRINGLE (E.-M.). **Energy and gaseous metabolism of the chicken from hatching to maturity as affected by temperature.** *J. Nutrit.*, 1946, 31, 35-50].

Voir aussi : YEATES (N.-T.-M.), LEE (D.-H.-K.) and HINES (H.-J.-G.). **Reactions of domestic fowls to hot atmospheres.** *Proc. Roy. Soc. Queensland*, 1941, 53, 105. — LEE (D.-H.-K.), ROBINSON (K.-W.), YEATES (N.-T.-M.) and SCOTT (M.-I.-R.). **Poultry husbandry in hot climates.** *Experimental inquiries Poultry Sci.* 1945, 24, 125.

Les volailles qui ont libre accès à l'eau de boisson ont une perte par évaporation plus grande et une résistance à la chaleur meilleure que les oiseaux dont l'abreuvement est limité [FOX (T.-W.) **Studies on heat tolerance with domestic fowl.** *Poultry Sci.*, 1951, 30, 477].

(38) La quantité d'eau utilisée par sudation pour la régulation de la température peut atteindre dix fois la quantité d'eau éliminée par les autres voies.

(39) 57 % de l'évaporation totale d'eau se fait par la peau (y compris la plante des pieds) [TENNENT (O.-M.). **A study of the water loss through the skin in the Rat.** *Amer. J. Physiol.*, 1946, 145, 436-440].

(40) Le tégument du chien adulte contient cependant des glandes sudoripares [CLAUSHEN (A.). *Anat. Anzeiger*, 1933, 77, 81; SPEED, *Vet. J.*, 1941, 97, 252]. Ces glandes sont capables de sécréter et répondent aux agents pharmacodynamiques et à la chaleur (EIMER (K.). *Arch. ges. Physiol.*, 1926, 212, 781. — AOKI (T.) and WADA (M.). **Functional activity of the sweat glands in the hairy skin of the dog.** *Science*, 1951, 114, 123-125). Les jeunes animaux transpirent abondamment par la plante des pieds.

(41) Dans la « sweating disease » du veau, la sudation peut se produire sur toute la surface du corps (DU TOIT. *Rept. Union South Africa Director Veter. Educ. and Res.*, 1923, 9-10, 123, d'après DUKES, p. 428).

Une preuve de l'importance de la régulation de la température par la voie cutanée chez les bovins est fournie par le fait que lorsque l'évaporation est entravée par la pulvérisation d'huile, la température centrale s'élève [REGAN (W.-M.) and FREEBORN (S.-B.). **The effect of flees and fly spray on certain physiological process of the dairy cow.** *J. dairy Sc.*, 1935, 19, 11-28].

(42) RIEK (R.-F.) and LEE (D.-H.-K.). **Reactions to hot temperatures of Jersey cows in milk.** *J. dairy Research*, 1948, 15, 219-226.

(43) La sueur du cheval est alcaline (pH 8,5) sa densité est de 1,020; elle contient 94,4 % d'eau, 0,53 de matières organiques, 5,09 de cendres. Les cendres sont constituées principalement de chlorure de sodium. Les matières organiques sont représentées par l'urée (0,14%) et des protéines : albumine et globuline. RITTER (*Arch. ges. Physiol.*, 1926, 213, 544) donne un taux de protéines beaucoup plus élevé : 1,95 à 3,47 %, moyenne : 2,75 (d'après DUKES, pp. 428-429).

(43') Sur ces points, voir : GOUNELLE (H.). **L'incidence des climats tropicaux sur la ration alimentaire. Données pratiques sur l'alimentation de l'enfance en Union française.** *Sem. Hôp. Paris*, 1950, 26, 1206-1220.

(44) Les faits d'observation et les constatations expérimentales sont d'accord sur le fait que l'élévation de la température ambiante provoque chez les bovins une accélération de la respiration qui peut atteindre un

état correspondant à la polypnée thermique du chien avec salivation. L'accélération respiratoire précède l'élévation de la température centrale; elle ne s'accompagne pas d'accélération du rythme cardiaque.

L'action de la température est plus marquée que celle de l'humidité : une élévation de 1° C cause une variation 41-43 fois plus marquée du rythme respiratoire qu'un accroissement de 1 % de l'humidité. Sous l'influence de l'élévation de la température on observe un abaissement du taux du phosphore minéral sanguin (4,96 - 2,95 %), une légère diminution de la calcémie (10,58 à 8,64) et de la glucémie (0,55 - 0,44), le taux des hématies ne varie pas. Les variations du Ca et du P sont attribuées à l'alcalose.

Les génisses sont plus sensibles que les vaches adultes (voir aussi note 79).

Cf. entre autres : GAALAAS (R.-F.) **Effect of atmospheric temperature on body temperature and respiratory rate of Jersey cattle.** *J. dairy Sc.*, 1945, 28, 555-563

Effect of warm weather on grazing performance of milking cows. *J. dairy Sc.*, 1946, 29, 199-206.

SEATH (D.-M.) and MILLER (G.-D.). **The relative importance of high temperature and high humidity as factors influencing respiratory rate, body temperature and pulse in dairy cows.** *J. dairy Sc.*, 1946, 29, 465-472.

RIEK (R.-F.) and LEE (D.-H.-K.). **Reactions to hot atmospheres of Jersey cows in milk.** *J. dairy Res.*, 1948, 15, 219-226.

RIEK (R.-F.) and LEE (D.-H.-K.). **Reactions of Jersey calves to hot atmospheres.** *J. dairy Res.*, 1948, 15, 227-232.

(45) HEMMINGWAY (A.). **The panting response of normal unanesthetized dogs to measured + dosage of diathermy heat.** *Amer. J. Physiol.*, 1936, 121, 747-754.

ANREP (G.-V.) and HAMMONDA (M.). **Observations on panting.** *Amer. J. Physiol.*, 1932, 77, 16-34.

FLINN (F.-B.). **Some effects of high environmental temperature on the organism.** *Publ. Health Rep.*, 1925, 40, 868-896.

(46) La teneur du lait en eau varie entre des limites peu étendues dans les diverses espèces de Mammifères. Elle est légèrement supérieure à celle du lait de vache chez la jument, 906 ‰; ânesse, 901. Très voisine: chamelle, 871; chèvre, 869; lama, 865; zébu, 861. Sensiblement inférieure : truie, 839; brebis, 836; buffle, 822. Nettement inférieure : éléphant, 793; chienne, 754; lapine, 690; dauphin, 410.

(47) Composition du croît en eau en fonction de l'âge et de la nature de l'alimentation. D'après MOULTON, TOWNBRIDGE and HAIG. *Missouri Agric., exper. Stat., Research Bull.*, 1922, 55. — D'après ARMSBY (H.-P.) and MOULTON (C.-R.). **The animal as a converter of matter and energy.** *The Chemical Catalog Co.* New-York, 1925, p. 171.

AGE (mois)	I	II	III
0-3	61,87	62,71	69,53
5,5	50,51	55,19	61,82
8,5	57,61	55,57	60,18
11	54,22	58,61	—
18	50,00	—	64,53
21	48,06	—	—
26	—	60,15	62,25
34	44,61	56,41	—
39,5-40	36,98	54,22	61,89
44,5	39,43	55,89	56,50
47-48	38,03	49,93	56,22

I. — Alimentation intensive.
 II. — Croissance maxima, sans engraissement.
 III. — Croissance limitée.

(48) Le comportement du rat-kangourou (*Dipodomys merriami*) a donné lieu à des recherches approfondies (*).

Dans cette espèce et les espèces voisines, la consommation d'eau en nature peut être nulle, les sujets peuvent être nourris exclusivement d'aliments secs (orge perlé à 5 et 10 % d'eau). Les réserves d'eau sont négligeables et les animaux sont très sensibles à la déshydratation. La teneur moyenne de l'organisme en eau reste constante et voisine de 66 % et la consommation d'aliments riches en eau, après un régime déshydraté ne la fait pas varier sensiblement.

L'urine est relativement concentrée : 8,7 % de ClNa, 22,8 % d'urée, soit 2 fois plus d'électrolytes et 1,6 fois plus d'urée que dans l'urine du rat blanc. L'étude de la *clearance* rénale chez *Dipodomys merriami* montre que la fonction glomérulaire est comparable à celle du rat blanc mais que la réabsorption tubulaire est intense et que de l'urée est excrétée par le tube urinifère au contraire de ce qui se passe chez les autres mammifères. Ces animaux, qui excrètent une urine plus concentrée que l'eau de mer, peuvent s'en accommoder comme boisson.

Les fèces sont relativement sèches (teneur en eau 45 %) et peu abondantes. L'évaporation cutanée et pulmonaire est faible, elle peut être accrue par une salivation abondante qui mouille la mâchoire inférieure. La perte totale par évaporation chez *Dipodomys merriami* est de 0,54 ml d'eau par ml de O₂ consommé; elle est de 0,94 chez *Rattus norvegicus* et de 0,85 chez *Mus musculus*, var. albinos; chez *Mus musculus*, var. sauvage qui est beaucoup plus résistante à la privation d'eau, elle est seulement de 0,59.

(*) **Water metabolism in desert mammals.** *Physiol., Rev.*, 1952, 32, 135-166.

SCHMIDT-NIELSEN (B.). **Renal tubular excretion of urea in kangaroo rats.** *Amer. J. Physiol.*, 1952, 170, 45-56.

SCHMIDT-NIELSEN (B.) and SCHMIDT-NIELSEN (K.). **The water economy of desert animals.** *Scient. Month.*, 1949, 69, 180-185.

A complete account of the water metabolism of kangaroo rats and an experimental verification. *J. cell. comp. Physiol.*, 1951, 38, 165-181.

(49) LESBRE (F.-X.). **Recherches anatomiques chez les camélidés.** *Arch. Museum Hist. nat.*, Lyon, 1903, 8, 1-196.

(50) PECK (E.-F.). **Salt intake in relation to cutaneous necrosis and arthritis of one humped camels (*Camelus dromedarius*, L.) in British Somaliland.** *Vet. Rec.*, 1939, 51, 1355-1360. — Editorial: **Salt requirements of the Camel.** *Vet. Rec.*, 1939, 51, 1361.

(51) Cf. SIMONNET (H.) et LE BARS (H.). **La régulation hormonale des métabolismes chez les animaux domestiques.** *Ann. Zootechnie*, 1954, 125-135.

(52) MOREIRA (M.), JOHNSON (R.-E.), FORBES (R.-E.) and CONSOLAZIO (F.). **Adrenal cortex and work in heat.** *Amer. J. Physiol.*, 1945, 143, 169.

(53) VERNEY (E.-B.). **The antidiuretic hormone and the factors which determine its release.** *Proc. Roy. Soc. (ser. B)*, 1947, 135, 85-106.

(54) GLIMAN (A.) and GOODMAN (L.). **The secretory response of posterior pituitary to the need for water conservation.** *J. Physiol.*, 1937, 90, 113-124.

(55) PICKFORD (M.). **Control of antidiuretic hormone from the pars nervosa of the pituitary gland.** *Physiol. Rev.*, 1945, 25, 573-595.

(56) Cf. BINET (L.). **La soif, traité de Physiologie normale et pathologique** de H. Roger, Paris, 1931. Masson et Cie, pp.90-96.

(57) BERNARD (Claude). **Physiologie expérimentale**, 1856, 2, 50.

(58) CANNON (W.-B.). *Proc. Roy. Soc.*, Londres (ser. B) 1918, 90, 283.

(59) DILL (D.-B.). **Life, heat and altitude.** Cambridge, Mass., *Harvard University Press*, 1938.

(60) PILLE (G.). Influence climatique dans les régions tropicales sur la déshydratation et l'abaissement des sels chlorurés dans l'organisme humain. *Bull. Féd. Amic. Pharm. réserve*, déc. 1950.

PILLE (G.) Echanges chlorurés et climatométrie des zones intertropicales. *Biol. Med.*, 1953, 42, 709-776.

(61) D'après MACH (R.-S.). *Les troubles du métabolisme du sel et de l'eau*. Paris, 1946, Masson et Cie.

	DÉSHYDRATATION globale par manque d'eau	DÉSHYDRATATION extra-cellulaire par manque de sel	DÉSHYDRATATION intra-cellulaire (hormonale)
Sensation de soif	Intense.	Nulle, malaise général	Très intense.
Perte de poids	Très marquée.	Légère.	Nulle.
Tension artérielle	Baisse légère.	Baisse marquée.	Normale.
Diurèse	Réduite.	Normale.	Normale ou augmentée.
Hémoconcentration	Très légère.	Très marquée.	Nulle
Chlore plasmatique	Normal ou très légèrement augmenté.	Diminué.	Normal ou peu augmenté.
Urée sanguine	Un peu augmentée.	Augmentée.	Normale.
Effet des boissons	Très bon.	Mauvais.	Variable.
Effet du régime salé	Mauvais.	Très bon.	Mauvais.
Effet du régime déchloruré	Favorable.	Mauvais.	Très bon.

(62) D'après ADOLPH (E.-F.), cf. note 36.

BESOIN DE	MINIMUM (1)	MOYENNE (1)
Croissance ou mise en réserve.	0	15 S-30 S
Élimination urinaire	400 S	1000-1500 S
Élimination fécale	30 S	90-150 S
Métabolisme extra-rénal	250 S	390 S
Sudation	1,73 × 0,4 M.-B.	ou 1,73 × 0,25 M.-B. 1,73 × 0,55 M.-B.
Total	2.100	3.400-5.000

S : surface. — M.-B. : métabolisme de base.

(63) La plupart de ces renseignements sont tirés du travail de LEITCH (I) and THOMPSON (J.-S.) *Economy of water of farm animals*. *Nutr. Abst. and Rev.*, 1944-45, 14, 197-223 et de (F.-B. MORRISON, *Feeds and Feeding*. The Morrison Publish. Co Ithaca (N.-Y.), 20^e édit., 1947.

(64) MORRISON, *Feeds and Feeding*. — L'influence de la nature de l'alimentation sur les besoins d'eau est soulignée par les quelques exemples suivants :

	Eau, kg/animal	Kg eau/kg d'aliment
Bovins à l'engrais :		
farine de maïs, son, tourteaux, foin	35,5	2,5
farine de maïs, mélasse, foin de maïs	32,8	2,4
foin, tourteaux	41,0	3,4
maïs en grain, foin de maïs	24,7	1,8

MORRISSON, Feeds and Feeding — Influence de la relation nutritive

R.N.	Eau totale par jour	Kg eau/kg matière sèche
1 : 7,9	32	3,28
1 : 11	28	3,09
1 : 7,9	34	3,50
1 : 1,61	31,7	3,24
1 : 4,9	33,6	3,29
1 : 5,9	33,4	3,40

HENDERSON (H.-D.) and TEAGUE (C.-E.). *J. dairy Sc.*, 1933, 16, 363. — Influence de l'eau apportée par les aliments :

Régime de base : foin, 0,9; grains 4,5 kg.

	Eau consommée (l)	Total (l)	Lait (l)
a) plus ensilage, 11,7 kg	29,160	36,900	12,150
b) plus navets, 36,763	13,410	47,880	11,025
c) plus navets, 52,065	0	48,625	10,980
pulpe sèche	—	46,080	—
pulpe fraîche	—	46,035	—

On a cherché à exprimer le besoin d'eau (totale) en fonction de la quantité de matière sèche de la ration. Les chiffres fournis par ce mode de calcul manquent de précision; le rapport eau/mat. sèche varie en effet chez les bovins mâles de 2,27 à 4,18; chez la vache sèche de 2,07 à 4,22 et chez la vache laitière de 1,06 à 6,2 (voir les tableaux 1 et 2 in LEITCH et THOMPSON, *loc. cit.*)

(65) CROWTHER (C.). *J. Ministry Agr. England*, 1938, 45, 653 (d'après LEITCH et THOMPSON).

(66) ATKESON (F.-W.), WARREN (T.-R.) and ANDERSON (G.-C.). *J. dairy Sc.*, 1934, 17, 249-256.

(67) RUPEL (I.-W.). *Wisconsin Agric. exp. Stat. Res. Bull.*, 404, 1929 (d'après Leitch et Thompson).

(68) CLARK (R.) and QUIN (J.-J.). **Studies on the water requirements of farm animals in South Africa.**

I. The effect of intermittent watering on merino sheep. *Onderstepoort J. Vet. Sc.*, 1949, 22, 335-343.

(69) CLARK (R.) and QUIN (J.-J.). **Studies on the water requirements of farm animals in South Africa.**

II. The relation between water consumption and atmospheric temperature as studied on merino sheep. *Onderstepoort J. Vet. Sc.* 1949, 22, 345-356.

(70) *Annales Sciences Agronom.*, 1888, 2, 276.

(71) HEYWANG (B.-W.). *Poultry Sc.*, 1941, 20, 184.

(72) WILSON (W.-O.). **Some effects of increasing environmental temperatures on pullet.** *Poul. Sc.*, 1948, 27; 813.

(73) Sur la biologie des Camélidés, cf. CURASSON (G.). **Pathologie exotique**, Paris, 1942, Vigot Frères. — CURASSON (G.). — **Le Chameau et ses maladies**, Paris, 1947, Vigot Frères. — DROANDI (I.). **Il Camello. Storia naturale, Anatomia, Fisiologia, Zootecnia, Patologia**, Florence, 1936, Istituto agricolo coloniale italiano — CAUVET. **Le Chameau**, Paris, 1926, Baillière. — LEASE (A.-S.). **A treatise of the one-humped Camel in health and disease**, Stamford (G.-B.), 1927, Haynes.

(74) L'absence d'urée dans l'urine des Camélidés [READ (B.-E.). **Chemical constituents of camel's urine.** *J. Biol. Chem.*, 1925, 64, 615-617] n'a pas été confirmée. — PIETRI (J.). **Notiz über den Harnstoffgehalt des Kamelharns; Ztsch. Phys. Chem. Excretion of camels.** *J. Biol. Chem.* 1928, 78, 409-411. Ces derniers auteurs trouvent un taux d'azote uréique allant de 32,5 à 69 % de l'azote total.

(75) Il ne paraît pas douteux que le chameau transpire, mais il est possible que l'évaporation rapide de la sueur en ait parfois imposé pour une absence de sudation (Cf. PEEK, note 50; CURASSON, note 73).

(76) ROWNTREE (L.-G.). **The water balance of the body.** *Physiol. Rev.*, 1922, 2, 116-169.

(77) DILL, note 33.

(78) PILLE, note 60

(79) D'après LEITCH et THOMPSON. — Exemples d'accélération cardiaque et respiratoire chez la vache laitière en fonction de la température ambiante (voir aussi note 44) :

	rythme respiratoire	rythme cardiaque	température ° C
petites laitières	28,6	69,6	0-15
	18,6	59,8	0-10,4
	28,6	68,6	0-27,2
	21,7	62,7	0-11,5
grandes laitières	36,2	71,7	14,5-18,1
	37,5	75,6	18,1-21,8
	37,7	73,7	22,7-27,2
	34,4	73,4	24,9-27,2
	29,3	85,7	27,2-31,8
	28,9	77,1	16,8-19,5
	52,9	82,4	31,8-34,0

Les constatations de RHOAD (*) faites au Brésil, sur 5 vaches Holstein, 2 zébus et 8 croisements mettent en évidence la supériorité des races autochtones dont la surface cutanée est relativement plus grande, le métabolisme de base plus bas, le poil plus court que chez les animaux européens. Ces animaux restaient au pâturage nuit et jour sauf au moment de la traite, la température variait de 11-19° C en mai, avec une humidité de 67 %, à 23-36° C en janvier, avec une humidité de 81 %.

Les variations du rythme respiratoire étaient les suivantes :

	poids (kg)	11°	19°	23°	29°	36° C
Holstein	565	28	30,2	44,4	92,4	107
Holstein zébu	436	20	22,4	29,8	74	89,3
Zébu	432	23	23	27	34,5	46

(*) RHOAD (A.-D.). *J. Agric. Sc.*, 1936, 26, 36 (d'après Leitch et Thompson).

(80) Voir par exemple : HAYS (W.-E.). **The effect of environmental temperature on the percentage of fat in cow's milk.** *J. dairy Sc.*, 1926, 9, 219-235.

RAGEDALE (A.-L.) and TURNER (C.-W.). **The seasonal variations of the percentage of fat in cow's milk.** *J. dairy Sc.*, 1922, 5, 544-554.

REGAN (W.-M.) and RICHARDSON (G.-A.). **Reactions of dairy cows to changes in environmental temperature.** *J. dairy Sc.*, 1938, 21, 73-79.

RHAOD (A.-O.). — **Climate and livestock production.** *Year book agr., U.S. Dpt of Agr.*, 1941, pp. 508-516.

La teneur souvent élevée en matière grasse du lait de vache produit dans les régions chaudes a frappé les nutritionnistes en ce qui concerne l'allaitement artificiel de l'enfant au lait naturel de vache (voir GOUNELLE (H.), note 43').

(81) SHUTTE (D.-J.). *Onderstepoort J. Vet. Sc.*, 1935, 5, 535 (d'après Leitch et Thompson).

(82) Les conditions d'adaptation des races européennes aux climats chauds mettent en jeu de nombreux facteurs en ce qui concerne la régulation thermique. La comparaison des différences de comportement et de tolérance de la race indienne sélectionnée Brahma avec les races européennes (Jersey et Holstein) paraît mettre en évidence que ces différences ne sont pas dues à une capacité d'évaporation cutanée plus grande, mais à la conformation : surface cutanée plus grande par rapport à la masse et métabolisme de base plus bas. (RAGSDALE (A.-C.), THOMPSON (H.-J.), WORSTELL (D.-M.) and BRODY (S.). **Milk production and feed and water consumption responses of Brahman, Jersey and Holstein cows to changes in temperature 50° F to 105° F and 50 to 3.** *Univ. Missouri. Agr. exp. Stat. Research Bull.*, n° 460, 1-28, 1950.

(83) BONVALLET (M.) et DELL (P.) **Métabolisme de l'eau et thermo-régulation physique.** *Ann. Nutr. Alim.* 1949, 3, 185-243.

ADDENDUM

Notes complémentaires.

Note 46' :

ROMANOFF (A.-L.) et ROMANOFF (A.-J.) [*The avian egg*, 1949, New-York, J. Wiley and sons], donnent les chiffres suivants en ce qui concerne la teneur des diverses parties de l'œuf en eau :

	Poids total (g)	eau (g)	eau (%)
Œuf entier	58	38,1	73,6
Coquille	6,1	0,1	1,6
Membrane	0,3	0,06	20,0
Blanc	32,9	28,9	87,9
Jaune	18,7	9,1	48,7

JACQUOT (R.) et ADRIAN (J.) [*Composition, valeur nutritive, éclosabilité de l'œuf en fonction du régime de la poule*. C.R. *Journées Scientif. de la volaille et de l'œuf*, Lyon, 1954, p. 247-326], estiment que la teneur de l'œuf en eau n'est pas modifiée par le régime d'abreuvement; quand il est insuffisant, c'est la ponte qui est compromise.

Note 71' :

LEROY (A.-M.) et DELAGE (J.) [*L'alimentation de la poule pondeuse*, C.R. *Journées Scientif. de la volaille et de l'œuf*, Lyon, 1954, p. 209-238], fixent la consommation d'eau moyenne de la poule pondeuse à 2,5-3 fois le poids de la matière sèche des aliments.

On compte qu'un élevage de 1.000 poules pondeuses bien alimentées, dont chacune produit 230 œufs par an, a besoin annuellement de 85,5 tonnes d'eau.

Les recherches de la Station Expérimentale de l'Illinois montrent qu'il existe un parallélisme entre les quantités d'eau ingérées par la poule et la production d'œufs.

Production annuelle d'œufs	Litres d'eau consommés
179	65,0
216	77,5
230	85,5
243	89,0

Ce fait est en rapport non seulement avec la quantité d'eau contenue dans les œufs mais avec les besoins de l'élimination des déchets azotés qui augmentent avec l'importance de la ponte.

Note 80' :

Le ravitaillement en eau est un facteur essentiel de la ponte. Une insuffisance d'abreuvement retentit immédiatement sur la production d'œufs, le phénomène de la ponte, dans ce cas, cède le pas aux autres besoins d'eau; la poule satisfait en priorité sa thermorégulation et ne conserve à l'œuf que les quantités d'eau non utilisées par la thermolyse [d'après JACQUOT (R.) et ADRIAN (J.), *loc. cit.*].