



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : [http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints ID : 4177](http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints/ID/4177)

To cite this version :

BRETEAU, Gaëlle. *Étude des paramètres d'ambiance pour le bien être des bovins lors du transport de longue durée* . Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Toulouse 3, 2010, 104 p.

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@inp-toulouse.fr.

ETUDE DES PARAMETRES D'AMBIANCE POUR LE BIEN ETRE DES BOVINS LORS DU TRANSPORT DE LONGUE DUREE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement en 2010
devant l'Université Paul Sabatier de Toulouse*

par

BRETEAU Gaëlle

Née le 5 Août 1985 à SAINT POL SUR MER (59)

Directeur de thèse : M. le Docteur Hubert BRUGERE

JURY

PRESIDENT :

M. Eric OSWALD

Professeur à l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

M. Hubert BRUGERE

M. Guy-Pierre MARTINEAU

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur : M. A. MILON

Directeurs honoraires M. G. VAN HAVERBEKE.
M. P. DESNOYERS

Professeurs honoraires :

M. L. FALIU	M. J. CHANTAL	M. BODIN ROZAT DE MENDRES NEGRE
M. C. LABIE	M. JF. GUELFY	
M. C. PAVAU	M. EECKHOUTTE	
M. F. LESCURE	M. D.GRIESS	
M. A. RICO	M. CABANIE	
M. A. CAZIEUX	M. DARRE	
Mme V. BURGAT	M. HENROTEAUX	

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

M. **BRAUN Jean-Pierre**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
M. **DORCHIES Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
M. **EUZEBY Jean**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **TOUTAIN Pierre-Louis**, *Physiologie et Thérapeutique*

PROFESSEURS 1° CLASSE

M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistique, Modélisation*
M. **CORPET Denis**, *Science de l'Aliment et Technologies dans les Industries agro-alimentaires*
M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*
M. **SAUTET Jean**, *Anatomie*
M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 2° CLASSE

Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*
M. **DUCOS DE LAHITTE Jacques**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la Reproduction*
M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*
M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
Mme **TRUMEL Catherine**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
M **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
Mlle **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mlle **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **DOSSIN Olivier**, (DISPONIBILITE) *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **GUERIN Jean-Luc**, *Elevage et Santé avicoles et cunicoles*
M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
Mlle **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique des animaux de rente*
Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
M. **MAGNE Laurent**, *Urgences soins-intensifs*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
M **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants.*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
Mlle **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
Mme **TROEGELER-MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

MAITRES DE CONFERENCES et AGENT CONTRACTUEL

- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORRAND Leni**, *Médecine Interne*
Mlle **DEBREUQUE Maud**, *Médecine Interne*
M **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie*
M. **IRUBETAGOYENA Iban**, *Médecine*
M. **LE BOEDEC Kevin**, *Médecine Interne*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mlle **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
Mlle **PASTOR Mélanie**, *Médecine Interne*
M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales*
Mlle **TREVENNEC Karen**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
M **VERSET Michaël**, *Chirurgie des animaux de compagnie*

A notre président de thèse,

Monsieur le professeur Eric OSWALD

Professeur des universités.

Praticien hospitalier.

Bactériologie, virologie, hygiène.

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse,

Hommages respectueux.

A notre jury de thèse,

Monsieur le docteur Hubert BRUGERE

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale.

Qui nous a aidé et dirigé dans notre travail et ce jusqu'au beau milieu de la campagne Corrézienne.

Qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Monsieur le professeur Guy-Pierre MARTINEAU,

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour

Pour m'avoir accompagné et conseillé dans mes précédents stages.

Pour son aimable participation au jury de notre thèse, sincères remerciements.

A mes parents, pour tout leur amour, leur confiance, leur soutien et surtout leur impressionnante patience. Pour tout ce qu'ils m'ont apporté. Merci, je vous aime.

Aux deux plus jeunes de la maison, Cyril et Marion, pour tous nos moments de complicité. A ma géniale petite sœur, confidente, amie, et « rédactrice » de bibliographie. Je vous souhaite tant de belles choses !

A pépé, que tu sois fier de moi depuis là haut. A mémé et à la Bretagne.

A mamie et René qui m'ont supporté pendant mes longues journées de rédaction. Merci René pour tes idées, ton aide et tes corrections assidues.

A Marie-Françoise et Alain pour leur accueil lors de mes studieux rendez vous Parisiens.

A Michel, Martine et Christian pour leur accueil à La Pause.

A Bouillotte, Julot, JB, Benou, Clarisse...A tous les Auzevillois, à cette prépa qui m'a construite, à toutes nos bêtises et paquitos dans le bâtiment 28 et à toutes nos retrouvailles futures...Auzeville forever, c'est écrit !

A Charlotte, Laura, Marie, Caro, Steph, Pauline, Sandrine, Caroline et toutes les autres, pour nos soirées palier du A 148...Pour votre présence dans tous les moments qu'ils soient heureux ou moins...Merci !

A Charlotte pour toute cette bonne humeur envoyée depuis A 248. A Charlotte et Marie pour nos power point réussis, excusez ma tyrannie.

A tous les amis, les Julies, Loic, Damien qui ont de prêt ou de loin suivi cette longue épopée de rédaction de thèse. Merci pour votre patience.

A Mr Da Silva, au Domaine de la Perche et aux entreprises Armaing pour m'avoir permis d'admirer ces belles bétailières se remplir, merci d'avoir répondu à toutes mes questions.

A Marie Aude Montely qui m'a guidé et aidé tout au long de cette thèse depuis son bureau Parisien.

A Jacques Capdeville pour les pistes de réflexion qu'il avait déjà exploré et qui m'ont été précieuses.

A tous ceux que j'ai rencontré au CRA de Gembloux, pour ce fabuleux stage qui m'a donné envie de m'intéresser au « bien être animal ».

A tous les docteurs que j'ai croisé en stages et qui m'ont tous communiqué un peu plus du bonheur d'être vétérinaire.

Aux docteurs de la clinique vétérinaire d'Objat pour ce premier « rempla » si formateur.

Table des matières :

Partie 1 : CONDITIONS CLIMATIQUES ET STRESS THERMIQUE CHEZ LES BOVINS : DEFINITION, RELATION ET EVALUATION.....	6
I Stress et bien être animal.....	6
II Physiologie générale du stress. (D'après 23, 5, 6).....	7
A. Les étapes de la réponse à un stress.....	7
B. La réponse physiologique à un stress et son influence sur le bien etre.	10
III Environnement thermique du bovin.....	12
1. Thermo-neutralité et zone de confort thermique.....	12
C. Définition des conditions de confort thermique pour les bovins.	15
D. Indices d'évaluation de l'environnement thermique.....	16
IV La thermorégulation chez les ruminants, principes généraux. (d'après 6, 11, 12, 13, 53).....	17
A. Echanges de chaleur entre l'animal et son environnement.....	17
B. Les mécanismes de la thermorégulation : modifications physiologiques, biochimiques et comportementales. (d'après 52, 53).....	22
C. Facteurs influençant les échanges et efficacité de la régulation : essais de modélisation des échanges de chaleur entre un ruminant et son environnement.	28
D. Cas particulier des veaux.....	30
V Le stress thermique, origines et conséquences.....	30
A. Relation entre stress thermique et processus de thermorégulation : à partir de quand parle-t-on de stress thermique ?.....	31
B. Facteurs de risque du stress thermique : différences de sensibilité au stress thermique....	35
C. Les indicateurs de stress thermique.....	36
Partie 2 : LES PARAMETRES D'AMBIANCE LORS DU TRANSPORT ROUTIER DES BOVINS : EVALUATION ET CONSEQUENCES EN TERMES DE BIEN ETRE.....	39
I Principaux aspects du bien être lors du transport routier sur de longues distances : enjeux et importance des conditions climatiques.	39
A. Enjeux économiques et sanitaires du transport routier.	39
B. Transport routier sur de longues distances et facteurs de stress.....	42
II Paramètres d'ambiance et stress thermique dans un véhicule de transport : définition, impact sur le bien être et moyens de maitrise.....	45
A. Température et humidité dans le camion, une combinaison de plusieurs facteurs.....	45
B. La ventilation, élément clé dans la dissipation de la chaleur et de l'humidité.	49
C. Bilan sur les conditions climatiques dans les véhicules et conséquences sur le bien être des bovins.	53

D.	Facteurs de risque de mauvaises conditions climatiques dans le camion	56
III	Conditions de transport les plus rencontrées en Europe et exemple de transport type.	58
A.	Climat et trajets.....	58
B.	Véhicules, équipements et chargement.....	60
C.	Types d'animaux:.....	62
Partie 3 : PRESENTATION DU REGLEMENT UE 1/2005 ET PROPOSITIONS DE NOUVELLES NORMES		
D'AMBIANCE ET DE MOYENS DE MAITRISE.		
I	Bien être thermique lors du transport : réglementation actuelle et lacunes en matière de conditions d'ambiance.	64
A.	La progression vers le règlement UE 1/2005.	64
B.	Les normes du règlement 1/2005 concernant la maitrise des paramètres d'ambiance lors du transport longue durée.	65
C.	Les problèmes soulevés par le règlement de 2005, point de vue des professionnels.....	67
D.	Propositions pour l'amélioration du règlement 1/2005, quelles pistes de réflexion ?.....	70
II	Des normes de température et d'humidité spécifiques aux bovins et variables.....	71
A.	Prendre en compte les spécificités de thermorégulation des bovins	71
B.	Prendre en compte le type de bovin transporté.....	73
C.	Prendre en compte les conditions climatiques et la durée du transport	74
D.	Prendre en compte et ajuster la densité.....	75
E.	Difficultés de prendre en compte tout cela, propositions de normes pour les bovins.....	76
III	Moyens de maitrise de l'ambiance et évaluation de leur efficacité : recommandations pratiques.	77
A.	Le système de ventilation idéal pour parvenir aux intervalles fixés	78
B.	Entrées et sorties d'air et ventilateurs :	78
C.	Ajustement de la ventilation selon les conditions extérieures et intérieures : Connexion à un système de relevés de température et humidité.....	79
D.	Surveillance des animaux et ajustement de la ventilation :.....	84
E.	Autonomie à l'arrêt :	85
F.	L'intégration des données par un système embarqué GPS.	86
IV	Proposition de ventilation à expérimenter.	87
V	Envisager la bétailière de demain : Quels impacts ? Quels contrôles ?	89
A.	L'impact de la maitrise des conditions d'ambiance.	89
B.	Le contrôle de la mise en application des moyens de maitrise de l'ambiance.	90
VI	Une autre façon d'envisager la réglementation : envisager une démarche d'assurance qualité applicable au bien être.....	91
A.	Le principe :	91
B.	La méthode HACCP appliquée au transport.....	92

C.	La démarche d'assurance qualité appliquée au transport.....	93
D.	Les codes de bonnes pratiques appliqués au transport et la formation des transporteurs.	94

Introduction

Les activités d'élevage constituent aujourd'hui un système complexe qui fonctionne en associant les humains et les animaux. Aujourd'hui, le bien être animal dans les systèmes d'élevage est une demande de plus en plus présente dans une société où l'animal est considéré comme un être vivant et sensible. De la naissance des animaux de production à leur abattage pour la consommation, de nombreuses situations et manipulations sont susceptibles de constituer une atteinte au bien être animal. Parmi les étapes de la production animale, le transport constitue un des principaux facteurs de stress.

Tous les animaux élevés pour la consommation sont transportés par la route au moins une fois dans leur vie. Porcs, bovins, moutons, chevaux circulent à grande échelle dans l'Union Européenne. Selon les estimations du secteur de l'élevage, environ un million d'animaux, sont transportés chaque jour, soit quelque 365 millions par an (45 millions de bovins, 95 millions de moutons, 225 millions de porcs et 300 000 chevaux) (1). Pour les bovins, la répartition des types de transport pour les transports de longues durées est la suivante :

- 67 % sont transportés vers les abattoirs,
- 29 % sont transportés pour le commerce de l'engraissement
- 4 % sont transportés à d'autres fins

Le transport des animaux vivants représente une part importante de la filière agro-alimentaire et un point stratégique dans la gestion du risque de propagation des maladies animales et des zoonoses en Europe.

Mais le transport sur de longues distances d'animaux vivants est aussi une des activités les plus controversées par l'opinion publique en terme de bien être et, de ce fait une des activités les plus réglementées par la Commission Européenne. Le transport des animaux vivants se définit comme une succession d'opérations comprenant le regroupement d'animaux à la ferme, le chargement dans une bétailière, le transport à proprement parler, le déchargement dans des parcs et les conditions d'attente et de manipulation (GRANDIN 2000). Ces opérations, la manière dont elles sont menées et les conditions dans lesquelles elles s'effectuent peuvent être considérées comme autant d'atteintes au bien être des animaux.

Les facteurs de stress les plus importants au cours du transport sont d'ordres physiques (bruits, vibrations), climatiques (température, humidité), sociaux (contacts avec les congénères et les manipulateurs, densité de chargement), comportementaux (manque d'exercice, position debout prolongée) et environnementaux (confrontation avec des événements nouveaux) (2, 3). Le microclimat présent dans le camion de transport est un des facteurs les plus importants à prendre en compte. En effet, un microclimat inadapté à la physiologie du bovin peut provoquer un stress thermique. Beaucoup d'éléments sont nécessaires pour le définir et l'évaluer, de nombreux facteurs entrent en jeu dans l'apparition de ce stress et dans la réaction des bovins. Au-delà de la menace que peut constituer ce stress pour le bien être des animaux, il est aussi important de noter que les

facteurs climatiques peuvent fragiliser les bovins et augmenter le risque de dispersion de maladie et augmenter les risques sanitaires. Enfin le stress thermique peut modifier la qualité des viandes.

C'est pourquoi il est difficile pour les comités scientifiques de l'Union Européenne d'établir directives et règlement afin d'assurer le bien être lors du transport. Le dernier règlement traitant du transport des animaux date de 2005. Il a pour but d'améliorer considérablement les dispositions qui régissent le transport en Europe. Il prévoit la mise en œuvre, à partir de 2007, de règles strictes sur la conception des véhicules (ventilation, densité...) assurant les transports de longue durée. Il prévoit aussi un système d'enregistrement et de contrôle de la température afin de respecter les limites de température fixées par l'Union Européenne.

Beaucoup d'éléments appellent à discussion dans ce règlement. On peut s'interroger sur le fait que les normes de température ne tiennent pas compte de l'espèce ni de l'âge ou de l'état physiologique des animaux, or chaque catégorie s'adapte différemment aux changements environnementaux lors du transport. Il est aussi important de prendre en compte que les conditions climatiques rencontrées en Europe sont très disparates. Des dépassements des limites de températures sont inévitables, se pose alors la question de la durée et de l'intensité tolérable du dépassement. Enfin, le placement des sondes et la mise en place de système de ventilation adéquate reste aussi une interrogation pour les professionnels, étant donné le manque de données scientifiques sur la question.

Aux vues de ces nécessités de recherche sur le confort thermique et l'établissement de limites plus adaptées et sur les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir, de nombreux scientifiques ont été consultés. L'objectif de cette thèse est de dresser un état des lieux des données scientifiques concernant la tolérance au stress thermique lors du transport et propositions de méthodes de mesures des paramètres d'ambiance pour leur contrôle et l'amélioration du bien être lors du transport. Nous nous intéresserons plus particulièrement au cas des bovins qui représentent % des animaux transportés et pour lesquels l'adaptation aux paramètres environnementaux est plus aisée.

Pour cela, nous verrons tout d'abord quelques rappels sur la thermorégulation chez les bovins et en quoi cette capacité d'adaptation à des températures extrêmes est importante dans l'établissement de normes de température assurant le bien être. Nous verrons ensuite quels sont les facteurs déterminants pour définir l'ambiance dans un camion de transport et quels sont les conditions de transport majoritairement rencontrées en Europe. Enfin, nous essayerons de trouver des indicateurs de bien être ainsi que des moyens pratique de mesurer les paramètres d'ambiance pour donner des recommandations aux professionnels tenant compte de la législation et des dernières données scientifiques.

Partie 1 : CONDITIONS CLIMATIQUES ET STRESS THERMIQUE CHEZ LES BOVINS : DEFINITION, RELATION ET EVALUATION.

Stress et bien être sont en étroite relation, ainsi, lorsqu'on étudie le stress thermique chez les bovins il est d'abord important de définir les conditions assurant le bien être thermique. Dans cette première partie, nous définirons tout d'abord les termes de stress et de bien être et les mécanismes physiologiques du stress. Nous verrons ensuite comment caractériser l'environnement thermique d'un bovin afin de mieux comprendre le stress thermique, ses origines et ses conséquences.

I Stress et bien être animal.

Le bien être des animaux est une notion difficile à définir, elle peut en effet être abordée du point de vue éthologique, physiologique, éthique... Depuis que le bien être animal est pris en compte dans nos sociétés (première loi contre la cruauté envers les animaux datant de 1822 en Angleterre), plusieurs définitions en ont été faites. En 1988, Broom définit le bien être comme l'état d'un individu au regard des tentatives qu'il fait pour s'adapter à son environnement. Pour Duncan en 1996, le bien être se définit comme l'absence de souffrance et la présence des sensations agréables.

Il ressort de ces considérations (4) que le bien être est un état d'équilibre dynamique entre l'animal et son environnement. On parle souvent aujourd'hui des « five freedoms » accordées aux animaux d'élevage et codifiées par le Conseil Britannique pour le Bien être des animaux de ferme : absence de lésions ou de maladies, absence de stress climatique et physique, absence de faim et de soif, absence de peur et possibilité d'exprimer des comportements normaux (5).

Lorsque l'environnement satisfait d'emblée tous les besoins d'un animal, l'état d'harmonie est atteint. Si la situation dans laquelle il est placé n'est pas trop éloignée de l'idéal, il va chercher à s'adapter. Si la situation dans laquelle l'animal est placé, est trop éloignée de l'idéal, il va présenter des difficultés d'adaptation se traduisant à moyen terme par une altération des fonctions biologiques. Ces difficultés à moyen terme et ces altérations à plus long terme correspondent à la notion de stress et de souffrance. Les facteurs de l'environnement agissant sur les différents systèmes assurant l'homéostasie de l'animal sont appelés stresseurs. Ces facteurs de stress peuvent agir de façon différentielle sur les organes. Les réponses au stress sont initialement protectrices mais peuvent devenir délétères si l'action des stresseurs est prolongée et continue.

Ainsi, biologiquement parlant la *stress* correspond aux *contraintes* et *agressions* subies par un organisme qui vont l'empêcher de vivre dans des conditions optimales et vont engendrer une réponse de cet organisme pour pouvoir vivre dans de meilleures conditions. Les réactions au stress menacent le bien être animal mais aussi les productions et l'état sanitaire des animaux, en ce sens qu'elles sont consommatrices d'énergie et affaiblissent l'organisme à plusieurs niveaux. Il est donc important dans notre étude de comprendre la physiologie du stress et plus particulièrement celle du stress thermique afin d'étudier les conditions de transport des bovins et leur influence sur le bien être.

II Physiologie générale du stress. (D'après 5, 6, 23)

La physiologie du stress peut être définie comme l'étude des réponses biochimiques, physiologiques et comportementales d'un animal par rapport aux facteurs nouveaux de son environnement.

A. Les étapes de la réponse à un stress

Les travaux de Cannon puis Sulze dans les années 1930, ont permis de définir la réaction de l'organisme à toute demande qui lui est soumise, cette réponse est non spécifique et se décompose en trois phases.

- **La réaction d'alarme ou réponse primaire** : une intervention du système nerveux autonome (production de catécholamines) permet d'enclencher les réactions physiologiques. Cette phase peut durer de quelques minutes à 24 heures. L'axe Hypothalamo-Hypophysaire (HH) est ensuite mis en jeu, les hormones corticostéroïdiennes sont produites.
- **Le stade de résistance ou réponse secondaire** : c'est un processus compensatoire pour restaurer la balance physiologique, il prolonge l'action des catécholamines du système nerveux autonome. On assiste à des changements physiologiques et biochimiques (hyperglycémie, hyperlactatémie, modifications hydrominérales, diminution des réserves de glycogène et inhibition de la synthèse protéique) dus à l'action physiologique des hormones synthétisées.
- **Le stade d'épuisement ou réponse tertiaire** : les limites de tolérance de l'organisme sont dépassées : la réponse compensatoire provoque des effets défavorables ou délétères. Lorsque la modification de l'environnement est chronique, il y a changement global de l'individu (croissance, reproduction, résistance immunitaire) et de son comportement.

Ces processus de réponse s'inscrivent dans l'ensemble des processus homéostatiques (travaux initiés par Claude Bernard) dont l'organisme dispose pour corriger tout écart à un point de consigne.

1. Réponses primaires (Réponses neuro-endocrines)

- **La réponse adrénérgique :**

La libération sanguine des catécholamines va entraîner une augmentation du rythme cardiaque et de la pression artérielle. On observe aussi des modifications respiratoires permettant d'accroître la fixation et le transport de l'oxygène dans le sang. L'oxygène nécessaire aux réactions cataboliques est ainsi plus rapidement disponible.

On assiste à une libération des érythrocytes de la rate : meilleure coagulation sanguine, à une élévation de la concentration en hémoglobine. La fréquence respiratoire augmente et il y a dilatation des bronchioles. Parallèlement, on a une augmentation de la tension artérielle

(vasoconstriction) et du rythme cardiaque. Les réserves énergétiques du foie sont mobilisées et l'épuisement du glycogène musculaire entraîne une hyperglycémie.

Les effets de la libération d'adrénaline et de noradrénaline sont multiples et sur plusieurs organes:

- action sur le muscle squelettique en augmentant la glycolyse
- action sur les cellules adipeuses en augmentant la lipolyse
- augmentation de la fréquence des battements cardiaques et de la force de contraction du cœur
- action sur la fonction respiratoire afin d'assurer une oxygénation optimale des organes concernés.

Les catécholamines sont synthétisées rapidement (quelques dizaines de secondes après la stimulation initiale) mais ne restent que quelques minutes présentes dans le sang (demi vie courte)

Leur action générale permet d'initier des processus biologiques permettant la fuite, la lutte ou l'effort d'adaptation.

La réponse adrénergique est donc rapide suite à la perception du stress (lutte ou fuite), de courte durée. Il y a une corrélation étroite entre l'amplitude de la libération de catécholamines et l'intensité du stress.

- **La réponse de l'axe hypothalamus-hypophyse (HH):** synthèse de glucocorticoïdes (cortisol, cortisone et corticostérone).

Les glucocorticoïdes sont synthétisés à partir du cholestérol dans le cortex surrénalien.

Dans des conditions basales, la sécrétion de cortisol est contrôlée par l'axe corticotrope, elle est pulsatile et suit un rythme circadien. L'hypothalamus est le premier maillon de cet axe, il sécrète l'hormone de relargage du Cortisol (CRH pour Cortisol Releasing Hormone), cette sécrétion est nyctémérale (= circadienne) et pulsatile. On observe un maximum au début des périodes d'activité (le matin vers 8h00) et un minimum en période nocturne. La CRH stimule elle-même l'antéhypophyse grâce au système porte. L'antéhypophyse synthétise en réponse à la CRH, un peptide : l'ACTH, qui stimule la production de cortisol au niveau de la médullo-surrénale. Sa demi-vie est courte : 20 à 30 minutes chez l'homme. Elle est libérée et circule sous forme libre et provoque la stéroïdogénèse. À son tour, le cortisol qui se trouve dans le sang (cortisol sanguin) va agir sur les cellules de l'hypophyse et freiner la production de corticotrophine. Il se crée ainsi une boucle appelée rétrocontrôle qui permet de réguler la sécrétion de cortisol dans le sang. Le cortisol circule à 95% sous forme liée à la transcortine ou à l'albumine (de façon non spécifique dans ce cas). La principale voie d'élimination (60 à 90%) est la glucurono-conjugaison dans le foie, il est aussi éliminé dans les urines sous forme libre et dans la salive.

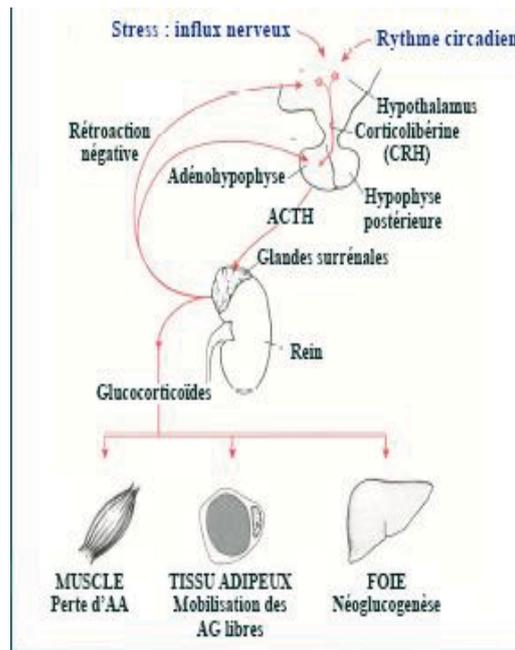


Figure 1 : les réponses de l'axe corticotrope suite à un stress.

Lors d'un stress, l'agression est perçue au niveau de l'hypothalamus et non de l'hypophyse. On a ainsi une forte sécrétion de CRH suivie d'un pic d'ACTH puis d'un pic de cortisol dans les 2 à 4 heures post stress. Cette réponse est rapide, elle débute 5 à 10 minutes après la perception du stimulus. Cette réponse est fortement influencée par des facteurs externes (température, qualité physico-chimique de l'eau, etc.) et internes (âge, sexe, degré de maturité sexuelle). Une concentration élevée en cortisol est maintenue lors de stress chroniques (surdensité, hiérarchie sociale, présence de toxiques chimiques), il peut aussi y avoir un retour rapide à une concentration basale lors de stress aigus de courte durée (manipulation ou confinement des animaux à court terme).

La réponse des corticostéroïdes est donc plus longue à mettre en place, Caractéristiques de la réponse des corticostéroïdes, dans les 5 à 10 minutes qui suivent la perception du stress. On assiste à une augmentation progressive des concentrations plasmatiques tant que le stress est maintenu, jusqu'à des valeurs de 200-500 ng*ml⁻¹, chez les Mammifères (y compris Homo sapiens). Dans certains cas de stress prolongé, le retour progressif des teneurs plasmatiques en cortisol à des valeurs de repos s'effectue suite à une augmentation de la vitesse de dégradation et d'évacuation de l'hormone (maintien du taux de sécrétion).

Les facteurs externes (température, qualité physico-chimique de l'eau, etc.) et internes (âge, sexe, degré de maturité sexuelle) ont une importante influence sur ces mécanismes de réponse endocrine à un agent stressant.

Lorsque les mécanismes d'adaptation ont été efficaces, la cortisolémie revient à la normale. Dans le cas contraire, lorsque la sensation de stress persiste il y aura alors maintien de l'hyper-cortisolémie. Une hyper-cortisolémie prolongée devient alors un indicateur de stress chronique.

2. Réponses secondaires

A la suite d'un stress l'action du cortisol permet une adaptation optimale lors du stade de résistance.

Le cortisol présente des effets métaboliques, entraînant la mobilisation des réserves énergétiques nécessaires pour faire face à la demande énergétique accrue associée au stress. Il prend le relais des catécholamines dans l'augmentation du glucose sanguin, par inhibition de la synthèse protéique et néoglucogenèse (désamination des acides aminés et utilisation pour la production de glucose). Enfin le cortisol permet la régulation de la pression osmotique et de la concentration ionique (restauration des valeurs normales par activation des Na⁺/K⁺ ATPase)

D'autres effets sont observés notamment sur le système immunitaire : action sur la formule leucocytaire et baisse des défenses immunitaires. On notera aussi une action sur les fonctions cérébrales.

A la suite de ces réponses secondaires les métabolites nécessaires pour que l'animal puisse exprimer une réaction comportementale sont réunis.

3. Réponses tertiaires

Elles apparaissent à la suite d'une exposition des organismes à des stressseurs chroniques. Elles sont à l'origine d'une réduction des capacités de reproduction (axe HPG) et ont une influence sur la résistance aux maladies (immunocompétence).

Le « syndrome général d'adaptation » résumé ici en trois phases met en jeu différents organes et systèmes dans l'organisme qui interagissent pour permettre une adaptation de l'animal aux facteurs nouveaux de son environnement. Ces changements peuvent être mesurés et observés.

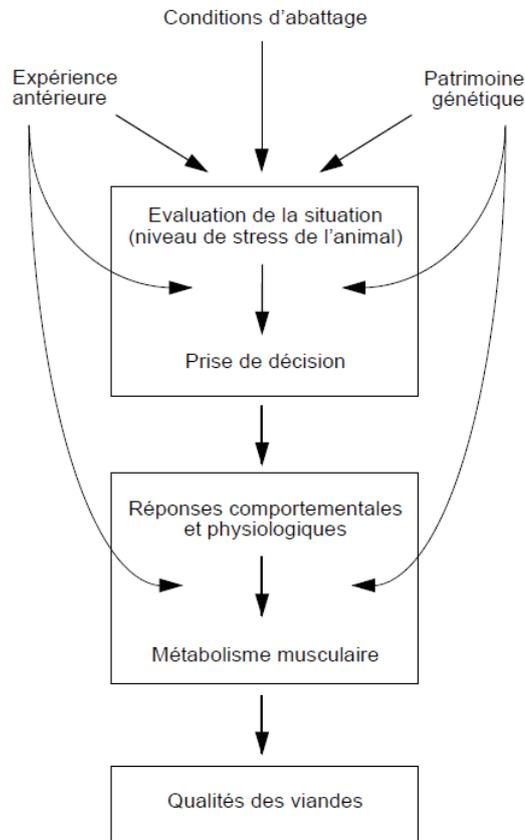
B. La réponse physiologique à un stress et son influence sur le bien être.

Aujourd'hui, on peut considérer qu'il y a deux choses importantes à prendre en compte au regard des mécanismes d'adaptation suite à un stress quelconque : l'impact que peut avoir la réaction au stress sur la capacité des animaux de production à continuer de produire avec des performances hautes et l'impact de cette réaction sur leur bien être. Même s'il apparaît que ce sont deux choses opposées dans la chaîne de production, les acteurs de la filière doivent aujourd'hui les prendre en compte à chaque étape. Il s'agit en effet de répondre à une demande sociale de qualité et de productivité mais aussi à une demande sociale de respect des animaux et d'éthique. On peut alors se demander dans quelle mesure un stress peut affecter la capacité de production d'une part et le bien être de l'autre.

De nombreuses études montrent l'influence du stress hiérarchique ou environnemental sur la qualité de la viande ou la production de lait. En effet, tout changement de la situation habituelle est susceptible de provoquer la peur chez l'animal. Chaque animal répond différemment à ce stress et les qualités des viandes sont fortement influencées par les comportements face au stress et par l'état physiologique qui en découle.

Ainsi, chez le porc et chez le bovin, les réactions de stress pendant la période du pré-abattage accélèrent le métabolisme musculaire *périmortem* et peuvent modifier, par ce biais, les qualités des viandes.

Figure 2 : influence du stress sur la qualité des viandes.



INRA Productions Animales, mai 2002

Une assimilation entre l'activation des réponses physiologiques au stress et la dégradation du bien être a souvent été faite mais reste à discuter. En effet, dans certains cas les données obtenues sont contradictoires et il apparaît que les concentrations en hormones du stress sont plus élevées dans des conditions jugées meilleures pour les animaux que celles fournies dans l'élevage industriel. Enfin, il est important de noter que l'état de stress de l'animal dépend non pas de la situation, mais de son évaluation de la situation. Chaque individu est forgé de manière unique par son patrimoine génétique et son expérience antérieure. Par conséquent, l'état de stress d'un animal est une expérience individuelle et subjective. Il est donc important de tenir compte de cela dans l'évaluation de l'état de bien être ou de mal être lors de la confrontation à un stress.

La réaction au stress s'inscrit donc dans l'interaction continue qui existe entre un animal et son environnement : lors de perturbations imprévisibles de l'environnement, en dehors des modifications prévisibles apparaissant par exemple durant une journée ou une saison, l'animal est confronté à un stress et produit un effort d'adaptation. Un des facteurs important de l'environnement de l'animal est ce qu'on appelle l'environnement physique regroupant la température, l'humidité, les radiations et la vitesse de l'air. Les animaux

d'élevage présentent des mécanismes performants de thermorégulation pour assurer l'homéostasie de leur température corporelle en fonction des variations de leur environnement. Les ruminants, du fait de la particularité de leur système digestif ont une thermorégulation très efficace lors de variations environnementales. Cela leur permet de répondre jusqu'à un certain point à un stress climatique.

Nous allons donc nous pencher plus particulièrement sur le stress thermique. Préalablement, il est important de définir l'environnement physique correspondant à l'état de bien être pour un bovin.

III Environnement thermique du bovin

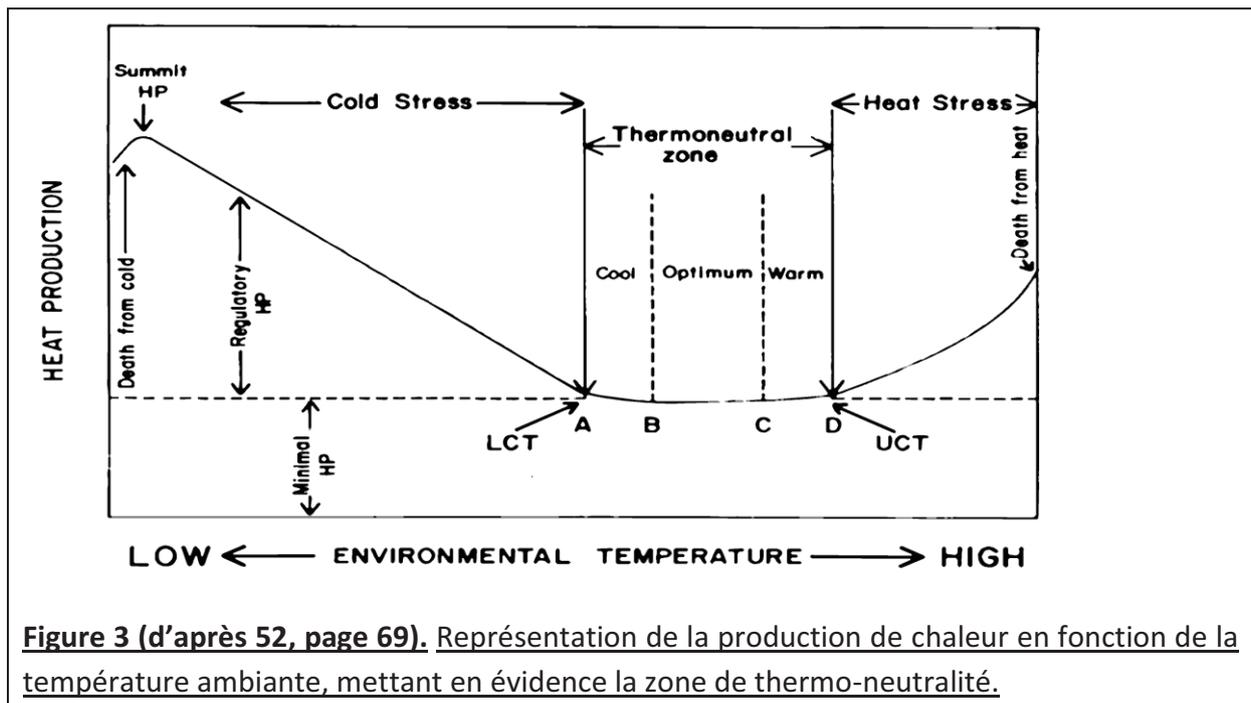
Que ce soit dans les bâtiments d'élevage ou durant le transport, les paramètres d'ambiance sont très importants à prendre en compte pour assurer des niveaux de production élevés et des occurrences de pathologies faibles. Nous allons donc étudier les facteurs importants dans l'évaluation de l'environnement thermique d'un bovin.

A. Thermo-neutralité et zone de confort thermique

1. Diagramme de thermorégulation.

La zone de thermo-neutralité a été définie par Bligh and Jonshon (39) comme la gamme de température pour laquelle la thermogénèse est à son minimum et la thermolyse se fait uniquement par des processus physiques autres que l'évaporation (sudation et augmentation de la fréquence respiratoire).

Le diagramme de la figure 3 représente la production de chaleur en fonction de la température ambiante en différenciant les zones selon les efforts de thermorégulation effectués par l'animal à différentes températures. La zone de thermo-neutralité est divisée en trois zones (Fig.3) : optimum, « cool » et « warm ». La zone optimale est le champ de températures pour lesquelles la productivité et les performances sont les meilleures. En zone « cool », la chaleur produite n'est pas modifiée mais l'animal conserve l'énergie qu'il produit. En zone « warm », la chaleur produite reste minimale et aucun processus évaporatif n'est mis en route pour perdre de la chaleur.



Ces zones ainsi délimitées peuvent être modifiées au cours d'une journée pour un même bovin ou peuvent être différentes entre les races de bovin (8). Lorsque le ruminant est en phase post-prandiale, une quantité d'extrachaleur est produite et doit être exportée. En conséquence, la zone de confort est déplacée vers des températures plus basses. De même, cette zone de confort se déplace vers les basses températures chez les ruminants à fort potentiel de production qui ont des niveaux d'ingestion élevés.

2. LCT ET UCT

La température critique supérieure (UCT pour Upper Critical Temperature) est la température ambiante au-dessus de laquelle l'animal doit, à court terme, augmenter sa thermolyse insensible pour parer à l'augmentation de sa température corporelle. La température critique inférieure (LCT pour Low Critical Température) est la température en deçà de laquelle l'animal doit augmenter sa production de chaleur, cette augmentation a une limite : le métabolisme de sommet.

Aux extrémités du diagramme, on trouve les limites létales de température. La limite létale par le froid est assez controversée, certains auteurs pensent qu'elle est extrêmement basse pour des bovins avec un apport important en énergie dans la ration. La limite létale par la chaleur est très variable, elle se trouve aux alentours de 40/42°C pour les bovins adultes et dépend du niveau d'alimentation, de l'acclimatation préalable du bovin et de la race (9).

Estimer les LCT et UCT pour les animaux de production est une chose très importante en production animale, cela permet d'assurer des conditions d'élevage et de production optimales. Ces limites dépendent fortement de l'âge et du niveau d'alimentation des animaux puisqu'elles rendent compte de l'évolution de la chaleur produite par l'animal en fonction de la température extérieure, et, nous l'avons vu, la chaleur produite dépend de nombreux paramètres.

Toutes ces températures critiques et ces intervalles de température varient selon les espèces et leur capacité d'adaptation à des situations environnementales variées.

Les valeurs de LCT et UCT pour les bovins et autres espèces varient dans la littérature. Voici quelques données obtenues sur différentes espèces :

Tableau 1 : Valeurs physiologiques de température pour différent types d'animaux, (d'après 11).

Cattle	Niveaux de températures recommandés pour le logement °C	LCT °C	UCT °C
Calf 0-2 weeks		10 ²	30 ³
Calf 50 kg liveweight	10 - 26 ²	0 ¹	30 ³
Beef cattle	4 - 26 ²	-40 ² , 5 ³	28 ³
Beef cow *	0 - 20 ⁷	-21 ⁸	
Dairy cow	4 - 24 ²	-24 ² , -30 ⁴	28 ³
Pigs			
2 kg *		31 ⁸	
20 kg *	26 - 32 ⁷	26 ⁸	
20 kg	20 - 32 ⁷	22 ³	33 ³
60 kg *		24 ⁸	
100 kg *		23 ⁸	
100 kg	18 - 22 ⁷	14 ³	32 ³
140 kg *		24 ⁸	
140 kg sow	12 - 20 ⁷	12 ³	30 ³
Sheep (general)	4 - 24 ²		
5-mm fleece*		25 ⁸	
50-mm fleece *		9 ⁸	
100-mm fleece *		-3 ⁸	
lamb 0-2 weeks	10 - 18 ⁷	10 ³	30 ³
Ewe full fleece	8 - 18 ⁷	-15 ³ , -9 ⁶	
Ewe shorn		15	30 ³
Goat	12 - 18 ⁹	0 ¹⁰	30 ¹⁰

¹ Webster (1981)

² Lindley and Whitacker (1996)

³ Wathes et al. (1983)

¹⁰ Constantinou (1987)

⁴ Webster (1987)

⁵ Holmes and Close (1977)

⁶ Charles (1994)

⁷ DIN 18910 (1992)

⁸ Curtis (1983)

⁹ Hinrichsen (1974)

(*maintenance diet)

Cependant, l'utilisation de ces températures est limitée. Tout d'abord elles sont exprimées sans tenir compte de l'humidité relative du milieu, ce qui est un paramètre important dans la régulation (18), de plus, elles ont été obtenues par des mesures en laboratoire et ne sont pas toujours applicables selon les processus d'adaptation que peuvent développer les bovins face à une exposition prolongée à un certain environnement. De même, la zone de thermo- neutralité est un concept qui a souvent été repris avec d'autres

dénominations : « zone de confort thermique », « zone de production optimale ». Il faut évidemment faire attention à ces formules, la définition ne se base que sur la chaleur produite et n'introduit pas de notion de « confort » ou de productivité.

Ainsi, il est important de définir autrement que par une simple donnée de température l'environnement ressenti par les animaux.

B. Définition des conditions de confort thermique pour les bovins.

1. Microclimat et température ressentie

Le terme micro-climat est utilisé pour désigner la combinaison des facteurs physiques, chimiques et biologiques affectant la qualité de l'air dans les bâtiments d'élevage ou autres lieux confinés où sont susceptibles de se trouver les bovins. On y retrouve l'influence de la ventilation, de l'isolation, de l'humidité mais aussi celle des gaz présents dans l'air (ammoniac dû aux urines, CO₂ respiratoire). Le microclimat a été très étudié pour son contrôle dans les bâtiments mais on dispose de peu d'éléments concernant le microclimat dans les véhicules de transport.

La température effective de l'environnement (EET) a été définie comme la température ressentie par un animal, effet combiné de la température réelle ambiante, de l'humidité relative, de la vitesse des courants d'air environnants et de la chaleur radiante autour de l'animal.

On remarque donc ainsi que les facteurs autres que la température doivent aussi être pris en compte lorsqu'on parle de confort thermique.

2. Effets des facteurs secondaires

Les facteurs physiques de l'environnement importants dans la prise en compte du bien être des ongulés domestiques sont la température de l'air, l'humidité, le vent et les radiations solaires.

La température de l'air, aussi appelée « dry bulb température » est définie comme la température indiquée par un thermomètre sous abri, c'est la donnée la plus souvent utilisée.

L'humidité est le second facteur important impliqué lorsqu'on parle de bien être lié aux paramètres d'ambiance. C'est la quantité de vapeur d'eau dans l'air. L'humidité relative est le quotient de la vapeur d'eau présente dans un volume d'air et de la vapeur d'eau présente dans le même volume d'air saturé (à la même température et pression). Elle s'exprime en pourcentage de vapeur d'eau dans l'air. L'humidité est un des facteurs déterminants dans la perte de chaleur par évaporation chez les ongulés domestiques comme nous le verrons dans la suite de l'exposé.

La vitesse du vent dépend des différences de pression dans l'atmosphère. Cette vitesse diminue lorsque le courant d'air se rapproche du sol. Il est donc important de mesurer ce paramètre à hauteur des animaux, en effet, une vitesse d'air d'environ 1m/sec diminue la température ressentie de 1.2 à 1.8°C (10).

Les radiations sont de deux origines : celles provenant du soleil, celles provenant de l'environnement (le toit, le sol...). La mesure des radiations provenant de l'environnement est difficile car elles dépendent du type de matériaux, de l'exposition...

Les gaz présents dans le milieu sont aussi pris en compte dans l'établissement de l'environnement climatique, les niveaux de Dioxyde de Carbone (CO₂), d'ammoniac jouent un rôle dans le bien être lié à l'ambiance.

3. Bilan sur la zone confort thermique des bovins.

L'environnement thermique ou microclimat dans lequel un bovin est élevé ou manipulé est d'une grande importance, en effet, il entre en interaction avec les fonctions endocrines, circulatoires et digestives des bovins. Le contrôle de cet environnement thermique est d'une importance majeure en élevage afin d'assurer des conditions de vie optimales pour des productions optimales. Par exemple, lorsque la température ambiante augmente, la lutte contre le chaud est difficile et la température critique supérieure est atteinte, la production de l'animal (lait, gain de poids) est alors réduite (8). Inversement, quand la température ambiante s'abaisse en-dessous de la température critique inférieure, les déperditions de chaleur sont plus importantes et l'animal les compense en augmentant sa thermogenèse, d'abord par un catabolisme partiel des nutriments ingérés, puis par l'utilisation des réserves lipidiques corporelles. Ce détournement de l'énergie ingérée pour lutter contre le froid entraîne une diminution de la production de l'animal.

La température est donc un indicateur essentiel dans la définition du confort thermique des bovins. On peut délimiter une zone de confort thermique uniquement basée sur des valeurs de température, ce sont les valeurs citées précédemment de LCT et UCT. La température idéale pour l'élevage des bovins se situe aux alentours de 20°C pour des bovins adultes (11). Une température limite basse de 0°C paraît acceptable. De même pour une limite haute, la température de 30°C semble être correcte. Mais ces données sont peu précises et concernent des bovins adultes quel que soit leur stade physiologique. De plus, nous avons vu précédemment que de multiples facteurs entrent en jeu. C'est pourquoi de nombreux auteurs ont cherché à définir des indices prenant en compte les paramètres autres que la température.

C. Indices d'évaluation de l'environnement thermique

1. L'index de JOHNSON : le THI

L'Index d'Humidité et de Température, (THI pour Temperature Humidity Index) a été initialement créé pour évaluer le confort des vaches laitières. C'est un index permettant d'évaluer l'environnement des vaches en élevage laitier afin d'étudier l'impact de cet environnement sur la production laitière. Le THI comme index environnemental en élevage laitier permet de modéliser l'impact sur la production laitière d'une exposition prolongée à un environnement climatique particulier. Il est exprimé en degrés Fahrenheit et prend en compte la température ambiante (dry bulb température comme définie précédemment) et l'humidité (humidité relative, RH).

$$\text{THI} = 0.81 \times \text{Tdb} + \text{RH} (\text{Tdb} - 14.4) + 46.4 \quad (\text{d'après } 9)$$

D'un point de vue climatique, un THI de 72 (température de 23°C et humidité de 70% environ) permet une bonne performance de production laitière. Cet index n'est adapté

qu'aux vaches laitières et ne prend pas en compte les autres facteurs. Il est cependant encore utilisé car il est facile à calculer et ses valeurs limites pour le confort des vaches laitières sont assez bien connues. Plusieurs études ont été menées pour appliquer la notion de THI aux bovins de boucherie mais aucun index valable n'a été mis au point. C'est en partie dû aux grandes variations interindividuelles mais aussi au fait que la relation entre un animal et son environnement est bien plus complexe que ce qui rentre en compte dans cet index. De plus, la base de l'utilisation de cet index se situe en élevage sur des durées d'expositions importantes (une saison).

2. Autres essais de propositions d'indices de mesures prenant en compte les différents facteurs de variation

P. Berbigier (64) a mis au point un indice suite à des mesures sur des taurillons Frisons en Guadeloupe. Il présente de nombreux avantages par rapport au THI, il intègre en plus : la vitesse de l'air au contact de l'animal, la production de chaleur de l'animal, le poids de l'animal. Il est adapté aux taurillons et broutards mais son calcul est complexe et implique une connaissance des paramètres de ventilation et de production de chaleur, ce qui est difficilement réalisable.

Plus récemment (55), des études menées sur plusieurs années sur différentes races bovines ont permis de définir et de tester un HLI (Heat load Index). Il prend en compte la température ambiante, l'humidité relative, la vitesse du vent et son expression varie en fonction de la race concernée. Des ajustements ont été faits pour prendre en compte l'accès à l'ombre, l'accessibilité à l'eau et le statut physiologique.

Ces indices et les valeurs qu'ils prennent pour délimiter les zones de confort et d'inconfort thermique seront utilisés dans la suite de l'exposé pour répondre aux interrogations sur les limites à partir desquelles on peut parler de stress thermique.

Nous avons donc défini l'environnement climatique du bovin en général, il est important de connaître les mécanismes de maintien d'une température corporelle constante lorsque cet environnement varie. Cela permettra ensuite d'étudier quelles sont les limites de la thermorégulation physiologique et de comprendre le stress thermique.

IV La thermorégulation chez les ruminants, principes généraux. (d'après 6, 11, 12, 13, 53)

Afin de comprendre en quoi des variations dans l'environnement physique des bovins peuvent être à l'origine de stress il est important de rappeler quelles sont les interactions entre un ruminant et son environnement climatique.

A. Echanges de chaleur entre l'animal et son environnement

1. Définitions

Tout d'abord l'animal se trouve dans un environnement à température ambiante, c'est la température radiante pour un régime de convection libre et un degré d'hygrométrie de 50%.

La température centrale reflète le niveau moyen de l'énergie thermique de l'organisme, elle s'exprime en degré Celsius. Elle est voisine de la température rectale qui varie avec la race, l'âge, le rythme circadien, le niveau de production.

Les ongulés domestiques sont des homéothermes, ils maintiennent leur température corporelle constante lorsque les conditions extérieures varient (dans une certaine limite).

La température corporelle profonde semble être le paramètre constant (à l'inverse de la température de la peau qui varie en fonction du milieu), elle se mesure le plus justement dans le rectum. Elle est un bon indicateur de la balance thermique entre un animal et son environnement. Dans un environnement thermique normal, la température rectale est constante. Une variation, même faible (moins de 1°C) reflète des changements physiologiques importants à l'origine de baisse de performances chez les animaux de production (56).

La température du cerveau est la plus importante des températures du corps en ce sens que le système nerveux est très sensible aux changements de température.

Le tableau 2 présente les températures corporelles pour les bovins de production en degrés Celsius, d'après (12) :

Tableau 2 : températures physiologiques chez les bovins.

	Temperature rectale	Intervalle physiologique
Vache à viande	38,3	36,7/39,1
Vache laitière	38,6	38/39,3
Veau nouveau né	39,5	38,7/39,9

L'homéothermie requiert donc que la chaleur produite ou emmagasinée soit équivalente à la chaleur perdue dans l'environnement. La constance de la température centrale est due à la balance entre thermogénèse et thermolyse.

La balance thermique entre un animal et son environnement est donnée par l'équation suivante (56) :

<p>$M = HS + K + C + R + E$ (équation 1)</p> <p>M : production de chaleur métabolique, HS : chaleur emmagasinée, R : chaleur échangée par radiation, E : chaleur échangée par évaporation, C : chaleur échangée par convection, K : chaleur échangée par conduction.</p>
--

Les processus de thermorégulation consistent en la modulation par l'animal des différents moyens d'échange de chaleur avec son environnement et de sa propre production de chaleur. Ainsi, il est apte à perdre ou à gagner de la chaleur pour garder une température centrale constante.

La conduction est un transfert de chaleur entre l'animal et le milieu par l'intermédiaire d'un contact matériel. Elle dépend de la surface d'échange entre l'air et l'animal, de la température de cette surface (la peau le plus souvent) ; de la température de l'air et du facteur de conduction propre à la peau.

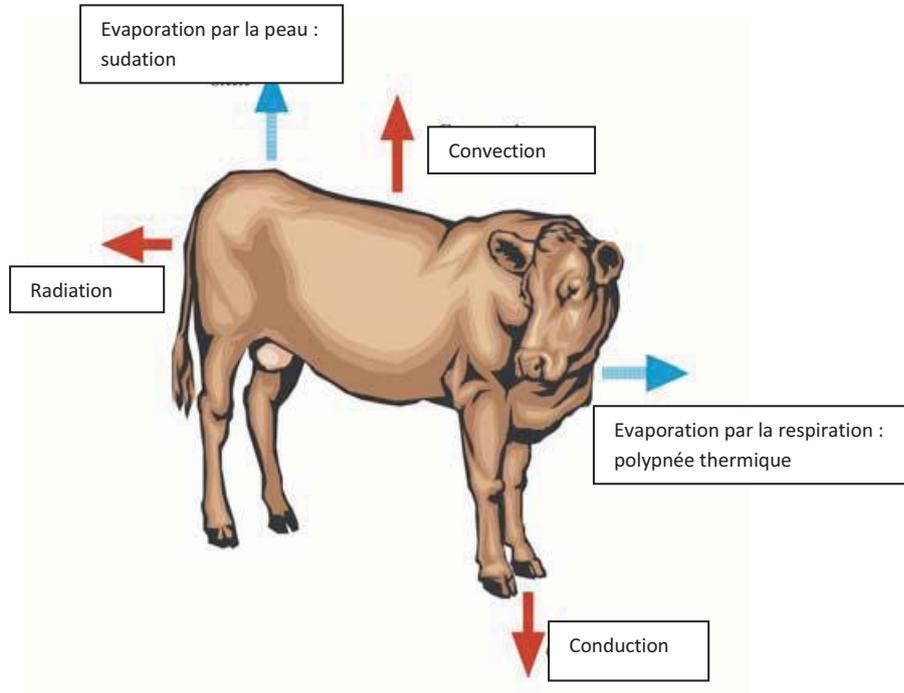
La convection correspond à un échange d'énergie par transfert au moyen d'un fluide circulant autour de l'animal (air ou eau). Il y a alors transfert d'énergie de la peau vers ce fluide.

La radiation est une perte d'énergie par rayonnement électromagnétique. La quantité de chaleur transférée associée à l'exposition aux radiations solaires est difficile à modélisée, elle est fonction de la surface d'exposition et de la couleur de la robe.

L'évaporation se fait au niveau de la peau ou des échanges respiratoires (vapeur d'eau exhalée). Sous des conditions de neutralité thermique, un bovin de 600kg perd environ 12L d'eau par jour.

Les transferts par conduction, radiation, convection sont dépendants du gradient de température entre l'animal et le milieu, on les appelle des échanges sensibles. L'évaporation dépend du gradient d'humidité relative entre les surfaces de l'animal en contact avec l'air et l'air lui-même. C'est ce que l'on appelle de la perte de chaleur insensible.

Figure 4 : représentation des échanges de chaleur entre un bovin et son environnement, (d'après 6).



Nous allons maintenant définir et expliquer les pertes et les gains de chaleur.

2. Thermogénèse métabolique (M) et gain de chaleur

La thermogénèse de base correspond à la production thermique minimum enregistrée chez l'animal au repos, à jeun et dans des conditions de neutralité thermique. La thermogénèse facultative ou extra-chaleur représente l'énergie produite en plus pour :

- le déplacement, chaleur produite par les réactions métaboliques lors de la contraction musculaire. De nombreux processus métaboliques produisent de l'énergie utilisée pour la synthèse de nouvelles molécules pour le travail musculaire
- l'alimentation, chaleur produite par les fermentations ruminales
- la reproduction de l'animal.

La production totale de chaleur par un bovin dépend (13):

- du poids de l'animal
- du niveau de production et le stade physiologique (lait, gestation, stress...)
- du niveau énergétique de la ration
- du moment de la journée

Connaitre la production de chaleur par les animaux est très important en élevage pour adapter les systèmes de ventilation et de maîtrise de l'ambiance dans les bâtiments. Il existe des équations donnant la production totale de chaleur en tenant compte des différents facteurs de variation. Ces équations sont données par le rapport du CIGR (2002) sur la climatisation en élevage (13).

La première partie de l'équation donne la valeur de la chaleur basale produite, elle ne dépend que de la masse de l'animal et est donnée pour des températures extérieures de 20°C et pour des masses M de 30 à 1000kg:

$Q_t = 7.64 M^{0.69}$ (équation 2)	
Q_t en W	M en kilogrammes

Tableau 3 : thermogénèse de base pour les bovins et les moutons (d'après 13, 53).

T H E R M O G E N E S E				
Espèce	Poids (kg)	KJ.24 h ⁻¹ .kg ⁻¹	Watt (w)	Réf.
Vache	600	54,9	381	5
Vache	300	58,8	204	"
Mouton	46,4	112,9	61	"

La chaleur du bovin provient de la thermogénèse mais aussi de la chaleur reçue par son environnement.

L'animal reçoit de la chaleur par radiation, correspondant aux rayonnements solaires. Il reçoit aussi de la chaleur par convection, lorsque la température de l'aire et plus chaude que celle de la surface de la peau, les mouvements d'air apportent de la chaleur à l'animal jusqu'à ce que la surface de contact soit à la même température que l'air. La chaleur reçue par conduction correspond à la chaleur qui peut être transmise par une surface plus chaude que la peau de l'animal lorsqu'il y a contact entre ces deux surfaces. Un bovin qui se couche sur un sol chauffé recevra de la chaleur, et d'autant plus qu'il y aura de surface corporelle en contact avec le sol.

3. Thermolyse (d'après 52, 41)

Un animal peut perdre de la chaleur selon quatre façons différentes (équation 1) : conduction, convection, radiation et évaporation d'eau.

Lorsqu'une couche d'air froid entre en contact avec la surface chaude de la peau, il se réchauffe puis se dissipe emportant la chaleur que lui a transmis le corps de l'animal. L'animal perd alors de la chaleur par convection. Il peut perdre de la chaleur par conduction lorsqu'il est en contact d'un matériau à température plus faible que celle de sa surface d'échange (sa peau).

L'évaporation d'eau permet la perte d'énergie à raison de 2400J par gramme d'eau, c'est la chaleur nécessaire pour convertir un gramme d'eau en vapeur. De façon générale la sudation est quantitativement plus importante que la perte de chaleur par les voies respiratoires. Les échanges par voie respiratoire : les ruminants halètent généralement la gueule fermée, les échanges de chaleur se font par conséquent au niveau de la muqueuse de l'appareil respiratoire supérieur, grâce aux capillaires sanguins. La sudation : le taux de sécrétion des glandes apocrines est assez faible et est compensé par l'évaporation, ainsi, on voit peu souvent des bovins mouillés de sueur.

4. Mesure de la thermogénèse et thermolyse (d'après 52)

Il est très difficile de mesurer la chaleur produite ou émise chez les Ongulés. De nombreuses méthodes associant les études en laboratoire et sur le terrain ont essayé de quantifier la chaleur produite par un animal.

On peut noter les systèmes de calorimétrie directe aptes à mesurer la chaleur émise par les animaux. Lavoisier et Laplace avaient mis au point un système de mesure de la chaleur produite : L'animal est placé dans une chambre aux murs isolés et dotés de conduits d'eau et de capteurs de température. La chaleur produite par l'animal est absorbée par les conduites d'eau et mesurée par différence entre les températures d'entrée et de sortie de l'eau. La vapeur d'eau émise dans la pièce est aussi mesurée grâce à un système de ventilation faisant entrer de l'air sec et mesurant l'humidité de l'air sortant. Ainsi la chaleur produite est mesurée en faisant la somme de la chaleur sensible et insensible.

Ces méthodes présentent de nombreux problèmes tant de réalisation que de justesse de mesure étant donné tous les paramètres pouvant entrer en compte dans la production de chaleur par un animal.

B. Les mécanismes de la thermorégulation : modifications physiologiques, biochimiques et comportementales. (d'après 52, 53)

Comme tous les processus d'homéostasie, la régulation de la température centrale est une fonction intégrative comprenant :

- un système de détection de variations de température, des récepteurs de chaud et de froid situés dans les tissus périphériques ou à l'intérieur du corps de l'animal.
- une transmission jusqu'à des centres aptes à traiter l'information, on considère que c'est l'hypothalamus qui est responsable des messages efférents
- Des centres effecteurs, et un système de retro contrôle pour une régulation adaptée aux besoins.

La production de chaleur chez les ongulés domestiques est contrôlée par le système nerveux et le système endocrinien. Ces deux systèmes régulent la prise de nourriture et les activités respiratoires cellulaires et enzymatiques. Le neuro-contrôle est initié par les thermorécepteurs de l'hypothalamus et les transmetteurs semblent être les catécholamines et les prostaglandines. Le contrôle hormonal met en jeu les hormones thyroïdiennes, on a montré l'effet calorifère de la T4 ; l'hormone de croissance GH et les glucocorticoïdes.

Ces systèmes entrent donc en jeu dans la régulation de la production de chaleur.

La température de l'air, l'humidité, la vitesse du vent, et l'insolation sont les facteurs de l'environnement agissant sur la balance thermique des bovins (59). Trois processus de 'refroidissement' sont mis en jeu: réduction de la résistance thermique des tissus, transpiration, halètement. Pour la lutte contre le froid, on observe une augmentation de la thermogénèse mécanique et métabolique et une diminution de la thermolyse.

Nous allons étudier ces réactions aux variations de l'environnement en détails.

1. *L'animal et la lutte contre la chaleur (d'après 52, 53, 8)*

L'organisme lutte contre l'hyperthermie en éliminant davantage de chaleur dans l'environnement et en limitant la production de chaleur. Pour ce faire il utilise les différents moyens d'échange de chaleur vus dans (e 1). Les processus de perte de chaleur sont divisés en pertes sensibles, phénomènes non évaporatifs (convection, conduction, radiation) et pertes insensibles (évaporation). Lorsque la température augmente, on observe une augmentation des phénomènes de dissipation de chaleur par convection, conduction et évaporation ; parallèlement on a une diminution de la chaleur reçue par radiation et de la chaleur due au métabolisme de l'animal.

- Les processus non évaporatifs et comportementaux de réponse à une augmentation de température.

La thermolyse sensible diminue puisqu'elle dépend du gradient de température entre l'animal et son environnement. En effet, l'organisme reçoit de la chaleur par radiation et convection lorsque la température de l'environnement est élevée. Afin de limiter le gain de chaleur, on observe des phénomènes pour limiter la réduction de thermolyse sensible.

On a une modification du débit sanguin au niveau de la peau, des oreilles, de la queue et des cornes. La vasodilatation cutanée permet l'accroissement des pertes par convection. En effet lorsque le réseau capillaire sous cutané est dilaté, le sang circulant passe à travers le tissu adipeux sous cutané, ainsi, la température de la peau est sensiblement la même que la température du corps et le gradient thermique entre la peau et l'environnement est réduit.. Il faut cependant noter que ce flux de chaleur dépend des isolants sur cutanés tels que la laine ou le poil, éléments qui sont plus courts en été.

La vasodilatation périphérique est un moyen très efficace de perte de chaleur chez les bovins du fait de leur grande surface d'échange (56).

Le bovin exposé à des températures élevées peut aussi réduire sa thermogénèse exogène et sa thermogénèse facultative. Ainsi, à partir d'un certain seuil de température, un bovin réduira son ingestion et aura un comportement alimentaire déplacé pendant les

périodes de fraîcheur (la nuit par exemple). Il diminuera ainsi sa thermogénèse facultative. De même une partie de l'extra chaleur provient de l'insolation des animaux, une façon comportementale de réduire cette insolation réside dans la recherche d'une position de moindre exposition aux rayonnements solaires : à l'ombre ou comme le font les bovins en cercle au milieu duquel ils placent leur tête. La chaleur accumulée par radiation est ainsi diminuée. Une isolation efficace des rayonnements solaires peut diminuer l'extrachaleur accumulée par radiation de 30 à 40% (56).

- Les processus évaporatifs.

La régulation de la température débute donc avec la mise en jeu des processus non évaporatifs, lorsque la température de la peau reste supérieure à celle du milieu. Lorsque la température extérieure s'accroît, les pertes par évaporation prédominent. Elles dépendent alors de la température extérieure mais surtout du degré d'hygrométrie dans le milieu et des réserves d'eau corporelles de l'animal. Cette évaporation s'effectue à partir des réserves corporelles d'eau soit au niveau de la peau, c'est la sudation, soit au niveau des voies respiratoires, c'est la polypnée thermique.

Les transferts évaporatifs dépendent du gradient de vapeur d'eau entre les surfaces d'échange de l'animal (peau et sudation et muqueuses respiratoires) et l'environnement. Les pertes sont accrues par une humidité faible, car une forte hygrométrie limite les échanges thermiques au niveau de la peau.

Comme la surface d'échange et les réserves hydriques varient selon la taille des animaux, les deux types de processus évaporatifs n'ont pas la même importance selon les espèces. Les grands ongulés domestiques présenteront une sudation prédominante alors que les petites espèces plutôt une polypnée thermique.

La sudation est une élimination d'eau par les glandes sudoripares. Contrairement aux moutons, les bovins présentent une grande densité de glandes sudoripares. Les pertes d'eau par sudation peuvent être mesurées en fonction de la température ambiante et de l'hygrométrie environnante (Tableau 4). On peut ainsi avoir une idée de la chaleur perdue par unité de surface de la peau et par unité de temps.

Tableau 4 : densité des glandes sudoripares et pertes d'eau par sudation chez différentes espèces. (D'après 53)

Espèce	Densité par cm ²	Thermolyse insensible	
		Température ambiante (°C)	g.m ⁻² h ⁻¹
Homme	face : 200-350	condition maximale	1000-3000 g in toto
	main : 2000		
	tronc: 200		
	tronc: 2000		
Bovins	encolure: 2500	40	145
	membre : 1000		
Chèvre		40	50
Ovins	tronc: 250	30	63
	scrotum: 2000		
Chameau		57	240
Porc		35	24
Cheval		40	100
Ane		40	166

La polypnée thermique est une accélération de la fréquence respiratoire. Celle des bovins se situe physiologiquement aux alentours de 20 mouvements par minute. Lors de polypnée thermique la fréquence respiratoire augmente jusqu'à une fréquence optimale pour laquelle les mouvements sont rapides et superficiels, évitant ainsi une augmentation de la thermogénèse et une alcalose respiratoire. La fréquence respiratoire peut augmenter jusqu'à 200 mouvements par minute (56). Les mouvements de l'air sur les muqueuses humides assurent une perte d'eau par saturation de l'air expiré en vapeur d'eau. Le gradient d'humidité entre les surfaces d'échange et le milieu est donc très important. L'efficacité de l'évaporation diminue avec l'augmentation du degré d'humidité.

Le tableau suivant (tableau 5) résume la mise en route des processus lors de lutte contre la chaleur chez les différentes espèces. On remarque que les bovins utilisent plus l'évaporation par sudation que par polypnée thermique.

Tableau 5 : réponse de thermorégulation des animaux de production face à un stress de chaleur (59, 60).

	Réponse vasomotrice	Polypnée thermique	Sudation	Autre
Bovins	Au niveau des membres et du buste	Lors de stress thermique élevés uniquement	Oui	Augmentation de la température centrale pour des stress sévères
Moutons	Uniquement au niveau des membres	Oui	Peu	

2. *L'animal et la lutte contre le froid (d'après 14).*

Dans la zone de lutte contre le froid, l'animal cherche tout d'abord à limiter les phénomènes de dissipation de chaleur sensibles et insensibles dans l'environnement. Les pertes par évaporation d'eau sont réduites au minimum (2% de la thermolyse totale). Les pertes sensibles par convection sont limitées grâce à des phénomènes vasomoteurs : le débit sanguin est réduit dans les structures en contact avec le milieu extérieur et peu protégées du froid (oreilles, queue...).

Pour un bovin placé à 5°C, la température de la queue est de 11°C, et celle des oreilles de 7°C. Pour les membres, le débit sanguin ne peut pas être autant réduit car il faut assurer l'approvisionnement des muscles en oxygène. C'est donc un retour veineux par les veines profondes qui limite les pertes de chaleur. De plus, un échange de chaleur s'effectue entre les veines et les artères qui sont proches les unes des autres.

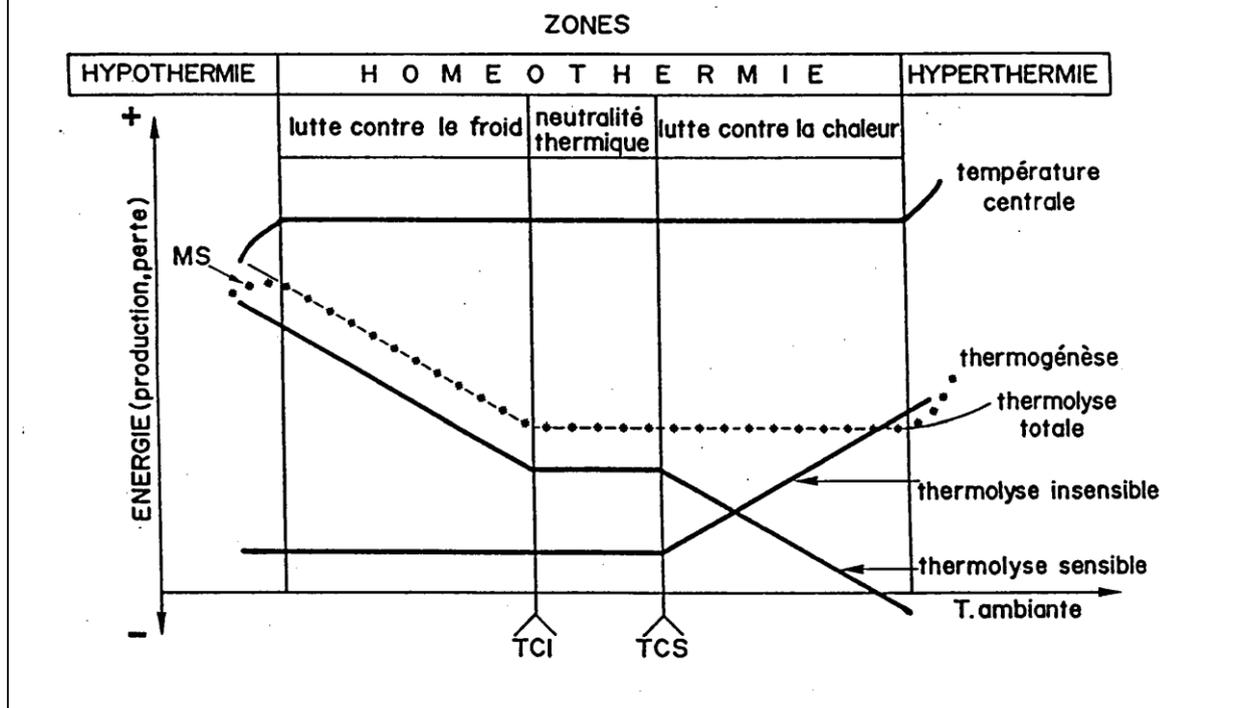
L'animal augmente ensuite sa thermogénèse jusqu'à atteindre un métabolisme de sommet. Ce métabolisme de sommet dépend de l'espèce, de l'âge, de la race, si l'on compare le métabolisme de sommet au métabolisme de base, on obtient des rapports très différents selon les espèces. Pour les bovins, ce rapport peut aller jusqu'à 7. La production de chaleur débute à partir d'un seuil thermique critique (STC) dépendant de l'âge, de la taille, de l'épaisseur de la fourrure de l'animal de la température ambiante et des conditions de vent et d'humidité (14). Le STC d'un bovin doté d'une toison d'épaisseur moyenne est de 0°C.

L'augmentation de la thermogénèse peut s'effectuer de façon mécanique (frisson thermique) ou métabolique (augmentation de la thermogénèse des tissus). Le frisson thermique concerne toute la musculature et peut représenter jusqu'à 80% de la thermogénèse totale. Chez les bovins, la thermogénèse métabolique réside dans l'augmentation du métabolisme du tissu adipeux brun. Ce tissu représente 3% du poids corporel et est situé au tour des reins et dans le mésentère. La lipolyse déclenchée par le système nerveux sympathique dégage de la chaleur.

Des mécanismes comportementaux sont aussi observés lors de la lutte contre le froid : les regroupements et les contacts permettent des échanges de chaleur par conduction, certaines positions dans l'espace visent à limiter la surface de dissipation de chaleur dans

l'environnement par radiation ou convection. Cela s'observe surtout chez les nouveaux nés dont les systèmes de thermorégulation ne sont pas encore totalement développés.

Figure 5 : Représentation des zones d'homéothermie, hyperthermie et hypothermie en fonction de la température ambiante. Représentation de la variation de l'énergie de thermogénèse et thermolyse en fonction de la température ambiante. (D'après 52)



Dans la zone d'homéothermie, le bovin garde, grâce aux processus étudiés ci-dessus, une température centrale constante. On y distingue une zone de neutralité thermique dans laquelle aucun effort de thermorégulation n'est effectué, et des zones de lutte contre le chaud ou le froid dans lesquelles la thermogénèse et thermolyse varient mais se compensent pour parvenir à une température centrale constante. Lorsque la température baisse, la thermolyse sensible est limitée et reste stable, la production totale de chaleur augmente donc et la température centrale reste donc stable. Lorsque la température ambiante augmente en approchant celle du corps du bovin, la thermolyse sensible devient moins efficace et tend à diminuer et l'animal augmente ses pertes de chaleur par évaporation, la thermolyse totale reste ainsi stable et la thermogénèse totale aussi.

On remarque ici que les bovins ont une capacité moins importante à s'adapter aux températures élevées.

Il est important de noter que ces phénomènes de thermorégulation en réponse à des variations peu importantes de la température extérieure varient en fonction de l'âge, de la race et du milieu de vie de l'animal. En effet, on observe des phénomènes d'acclimatation à certains environnements. Lorsque la température change et reste plus élevée ou plus faible pendant plusieurs semaines ou mois, des adaptations se font sur le niveau d'ingestion des bovins, leur métabolisme et la densité des poils.

C. Facteurs influençant les échanges et efficacité de la régulation : essais de modélisation des échanges de chaleur entre un ruminant et son environnement.

Les facteurs affectant la chaleur « de base » produite par un animal sont nombreux, connaissant ces facteurs et leur influence sur les échanges de chaleur entre l'animal et son milieu, des études ont tenté d'établir des modèles mathématiques de transfert de chaleur.

Les facteurs environnementaux : des modifications de la chaleur produite en réponse à des variations de facteurs climatiques ont été mis en évidence et mesurés (15). Ainsi, les modélisations actuelles prennent généralement en compte la température de l'air, la vitesse du vent, la pression de vapeur d'eau et les radiations solaires.

Les facteurs relatifs aux animaux : stades physiologiques, alimentation et caractères spécifiques font partie des données de la modélisation. La chaleur basale produite par les animaux varie selon l'espèce et la race, les bovins produisent plus de chaleur par unité de poids que les moutons et les zébus ont une chaleur de base moins importante que les races de bovins européennes. Le niveau d'alimentation joue aussi un large rôle dans la production de chaleur. Le niveau de production (lait, laine, reproduction) est aussi très important.

Quelques études ont mis au point des modèles mathématiques à partir des bases de la thermorégulation afin de prédire le statut de thermorégulation d'animaux homéothermes. Les réponses à des changements thermiques de l'environnement ont été mesurées. Les paramètres pris en compte en tant que variables du modèle sont les variables climatiques

Un des modèles (61) a été mis au point pour prédire la balance thermique chez les bovins. Il inclut les pertes de chaleur par convection, radiation et évaporation. Les animaux répondent par des processus de vaso dilatation, transpiration, halètement et stockage de chaleur à différentes stimulations climatiques. Pour les moutons, la concordance entre les prédictions du modèle et les valeurs mesurées présente un pourcentage d'erreur de +/- 10%, pour les bovins le pourcentage est de 15% et parfois plus élevé (dans des conditions de vitesse de vent importante par exemple). Il peut être utilisé pour déterminer les conditions sous lesquelles un bovin se trouve dans l'incapacité de réguler sa température. Cela peut être intéressant pour déterminer les limites de la thermorégulation normale et du stress thermique. Il est aussi possible de tester l'influence de la vitesse du vent sur les déperditions de chaleur à différentes températures ambiantes, l'influence de l'humidité ou de la longueur des poils des bovins ou de la toison des moutons. D'autres modèles présentent plus de variables de départ et peuvent ainsi être plus précis sur la déperdition totale de chaleur d'un bovin dans différentes conditions (60). Il est ainsi possible de changer une variable (température du corps) et de modéliser quelle sera la réponse en termes de fréquence respiratoire et sudation permettant de revenir à une température normale (59). Ces modèles sont basés sur des équations prenant en compte les mécanismes de lutte contre des températures élevées ou basses et permettent de prédire dans quelle mesure (quantitativement et qualitativement) les processus de thermorégulation vont être impliqués dans le maintien de la température corporelle.

- *L'humidité et son influence sur la thermorégulation :*

La pression en vapeur d'eau dans l'environnement à surtout une influence sur la thermolyse insensible. Lorsque l'humidité augmente, les pertes de chaleur par évaporation diminuent. Inversement, un air sec favorise la saturation en vapeur d'eau de l'air au contact des muqueuses et de la peau et donc le transfert de chaleur par pertes d'eau. Ainsi, un bovin peu survivre à des températures de 40°C si l'humidité est de 60% (11).

Au-delà de l'humidité, la pluie est aussi un facteur modifiant les propriétés isolantes de la robe. Si la toison est mouillée, l'indice d'isolation diminue et le STC augmente à 14°C.

- *La vitesse du vent et son influence sur les échanges :*

Le vent augmente à la fois les transferts par convection et évaporation. On définit le facteur de refroidissement éolien correspondant à l'influence qu'a le vent sur la température ressentie au niveau de la surface du corps du bovin. Des abaques permettent d'en avoir une idée quantitative. On cite généralement une diminution de la température ressentie par l'animal de 1.2 à 1.8°C pour une augmentation de la vitesse de l'air de 1 m/seconde. Par exemple, sous une température de -1 °C avec un vent de 80 km/h est exposé, si l'on tient compte du facteur de refroidissement éolien, à une température de -23 °C (14). Inversement, pour des températures élevées, le vent devient avantageux car il permet d'augmenter les transferts de chaleur au niveau de la peau (11, 10)

Tableau 6 : Facteur de refroidissement éolien. (d'après 14)

Température réelle de l'air (°C)	10	4	-1	-7	-12	-18	-23
	Facteur de refroidissement éolien						
Vitesse du vent (km/h)							
8	9	2	-3	-8	-15	-21	-26
16	4	-2	-8	-15	-22	-29	-34
24	2	-5	-12	-21	-28	-34	-41
32	0	-8	-16	-23	-31	-37	-45
40	-1	-9	-18	-26	-33	-39	-48
48	-2	-11	-21	-28	-36	-42	-51

56	-3	-12	-21	-29	-37	-44	-54
64	-3	-12	-22	-29	-38	-47	-56
72	-4	-13	-22	-30	-39	-48	-57
80	-4	-13	-23	-31	-40	-48	-58

En sélectionnant la colonne correspondant à la température réelle de l'air et la rangée correspondant à la vitesse du vent (km/h), on peut connaître la température ressentie par les bovins. Il suffit de retrancher à la température de l'air le facteur de refroidissement éolien. Le nombre qui figure à l'intersection de la colonne et de la rangée représente le facteur de refroidissement éolien.

D. Cas particulier des veaux.

Les jeunes ruminants présentent quelques particularités, ainsi, la notion de bien être en général et de confort thermique en particulier demande une approche différente. Les phénomènes de régulation se mettent progressivement en place chez le jeune animal. Les réserves énergétiques permettant d'augmenter la thermogénèse lors de la lutte contre le froid sont faibles. Les fermentations ruminales sont absentes chez les animaux non sevrés. En conséquence, un veau ou un agneau nouveau-né est beaucoup plus exposé aux aléas climatiques qu'un ruminant adulte.

La zone de confort thermique pour les jeunes veaux se situe de 15°C à 25°C. La lutte contre le froid s'effectue par le même processus que chez l'adulte mais les comportements de regroupement et le positionnement dans l'espace sont beaucoup plus importants.

Comme tout animal homéotherme, le ruminant possède donc la capacité de maintenir sa température corporelle dans un intervalle très étroit. C'est une condition essentielle pour que les grandes fonctions physiologiques et l'ensemble des réactions métaboliques au niveau cellulaire s'effectuent dans des conditions optimales. Cependant, au-delà d'une certaine température ambiante, le ruminant ne peut plus assurer le maintien de sa température interne. On doit alors introduire la notion de stress thermique et étudier ses conséquences sur le bien être.

V Le stress thermique, origines et conséquences

Il paraît important de connaître les limites des variables climatiques au-delà desquelles l'animal fait des efforts de thermorégulation tels que son bien être en est menacé.

Nous avons vu que les bovins étaient plus sensibles aux températures élevées, c'est pourquoi nous parlerons plus souvent de stress de chaleur que de stress du au froid.

A. Relation entre stress thermique et processus de thermorégulation : quand parle t'on de stress thermique ?

1. *Présentation de différentes propositions.*

Selon la définition du stress, il débute lorsque l'animal fait des efforts physiologiquement inhabituels pour s'adapter à son environnement. On peut alors se demander à partir de quelle situation climatique le bovin peine à s'adapter à son environnement.

Le stress débute lorsque l'animal entre en hypothermie ou en hyperthermie, les processus de thermorégulation sont alors dépassés et l'homéostasie est rompue. Ces situations sont néfastes pour la santé du bovin et ses capacités de production. Une augmentation de 1°C provoque une diminution significative de la production laitière. Les températures pour lesquelles la thermorégulation devient moins efficace sont difficiles à donner puisque l'efficacité de la thermorégulation dépend de nombreux autres paramètres comme nous l'avons vu précédemment. On peut citer pour des bovins adultes une température limite de 24-26°C au-delà de laquelle la température rectale augmente.

D'autres auteurs considèrent que même lorsque la température corporelle change, l'animal peut être considéré dans une zone de bien être lorsque ce changement ne dépasse pas une certaine limite.

De nombreuses publications se basent sur l'index THI pour délimiter les zones de bien être et de stress thermique. Cependant, les valeurs données diffèrent selon les auteurs. 56 propose un index aux alentours de 70 pour le confort thermique, des valeurs de 75/78 sont stressantes et des valeurs dépassant 78 provoquent un stress extrême pour lequel le bovin, est incapable de maintenir sa température stable.

Dans cette définition le stress thermique commence avant le passage dans la zone d'hyperthermie et la zone d'hyperthermie représente une zone de stress intense. Lemerle et Goddard (1986) suggèrent que l'homéostasie et le bien être sont assurés jusqu'à une valeur de THI de 80. Il est aussi intéressant de regarder dans les études menées sur les réactions au stress thermique quels sont les niveaux de THI appliqués lors des expérimentations. Dans l'étude menée sur l'effet du stress de thermique sur la respiration et les valeurs des paramètres sanguins chez les moutons (57), les animaux ont été soumis à un THI de 93 considéré comme un stress de chaleur induisant des réponses physiologiques mesurables. Des bilans de ces études mènent à établir des catégories de THI associées au degré de menace pour le bien être des bovins. Le tableau 7 représente ces quatre catégories.

Tableau 7 : classement du THI en quatre catégories de valeur (d'après 9).

RH (%)	Ambient temperature (°C)											Valeurs de THI correspondant aux niveaux de gris du tableau :
	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	
100	63,5	68,0	72,5	77,0	81,5	86,0	90,5	95,0	99,5	104,0	108,5	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #cccccc; margin-bottom: 5px;"></div> Urgence vitale <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #999999; margin-bottom: 5px;"></div> Danger <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #666666; margin-bottom: 5px;"></div> Alerte modérée <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #333333; margin-bottom: 5px;"></div> Normal </div>
95	63,3	67,7	72,1	76,5	80,8	85,2	89,6	94,0	98,3	102,7	107,1	
90	63,2	67,4	71,7	75,9	80,2	84,4	88,7	92,9	97,2	101,4	105,7	
85	63,0	67,1	71,3	75,4	79,5	83,6	87,8	91,9	96,0	100,1	104,3	
80	62,9	66,9	70,9	74,9	78,9	82,9	86,9	90,9	94,9	98,9	102,9	
75	62,7	66,6	70,5	74,3	78,2	82,1	86,0	89,8	93,7	97,6	101,5	
70	62,5	66,3	70,0	73,8	77,5	81,3	85,0	88,8	92,5	96,3	100,0	
65	62,4	66,0	69,6	73,3	76,9	80,5	84,1	87,8	91,4	95,0	98,6	
60	62,2	65,7	69,2	72,7	76,2	79,7	83,2	86,7	90,2	93,7	97,2	
55	62,1	65,4	68,8	72,2	75,6	78,9	82,3	85,7	89,1	92,4	95,8	
50	61,9	65,2	68,4	71,7	74,9	78,2	81,4	84,7	87,9	91,2	94,4	

RH : Relative Humidity (humidité relative comme définie précédemment).

Ambient Temperature : température de l'air.

La représentation de ce tableau en graphique faite par Armstrong en 1994 permet de visualiser les zones pour lesquelles on considère qu'il y a absence de stress (THI<75), stress moyen (THI<78), stress modéré (THI<83), stress sévère (THI<84) et stress pouvant conduire à la mort (THI>84)

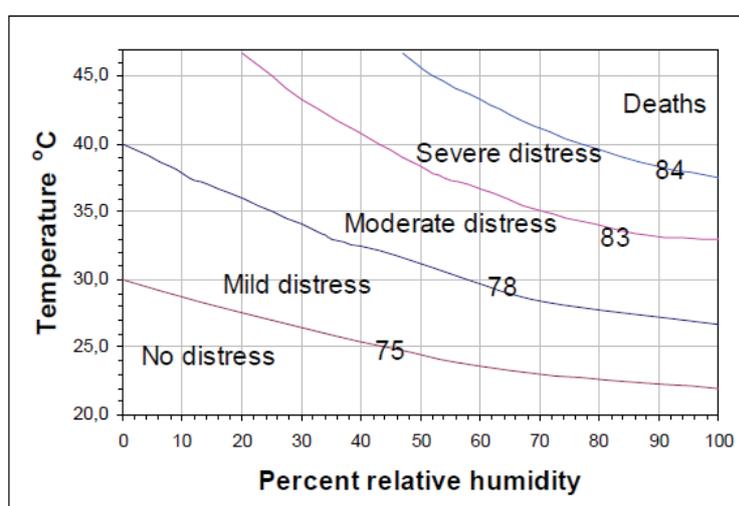


Figure 6 : relation entre température, humidité relative et zones de stress de chaleur chez les bovins (9)

Dans l'étude proposant l'indice HLI comme index de d'évaluation de l'environnement thermique, les valeurs limites sont données (55). Pour les bovins pris dans l'étude (race, âge,

stade physiologique donné), la valeur pour laquelle l'animal commence à accumuler de la chaleur est de : HLI=86. Il est important de noter que cette valeur a été établie sur la base des scores de polynée thermique. Un animal dont la fréquence respiratoire atteint une valeur telle qu'il ne puisse plus dissiper toute la chaleur qu'il produit et qu'il reçoit de l'environnement peut être considéré comme un animal en stress thermique, ses efforts d'adaptation sont élevés.

Devant la diversité des limites on peut s'interroger sur le bien fondé de vouloir donner une limite fixe qui séparerait une situation d'absence de stress d'une situation de stress. J. Capdeville s'intéresse (10, 9) à la notion d'effort d'adaptation et de stress de plus en plus sensible.

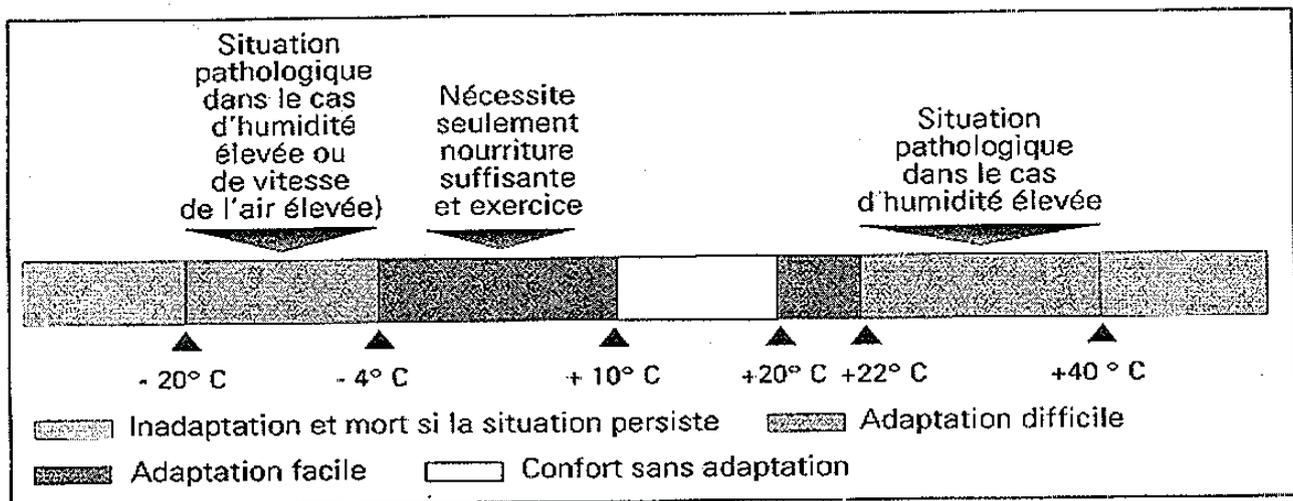
2. La notion d'effort d'adaptation.

L'état de stress thermique d'un animal est évalué au regard des efforts d'adaptation qu'il fournit face à un environnement qui change. Cela va du « confort sans adaptation » à l'impossibilité d'adaptation et à la mort de l'animal.

Les situations intermédiaires sont qualifiées d'adaptation facile et difficile, elles n'ont pas la même amplitude selon que l'animal doit s'adapter à des températures élevées ou basses.

Voici un bilan de ce modèle (d'après 10) :

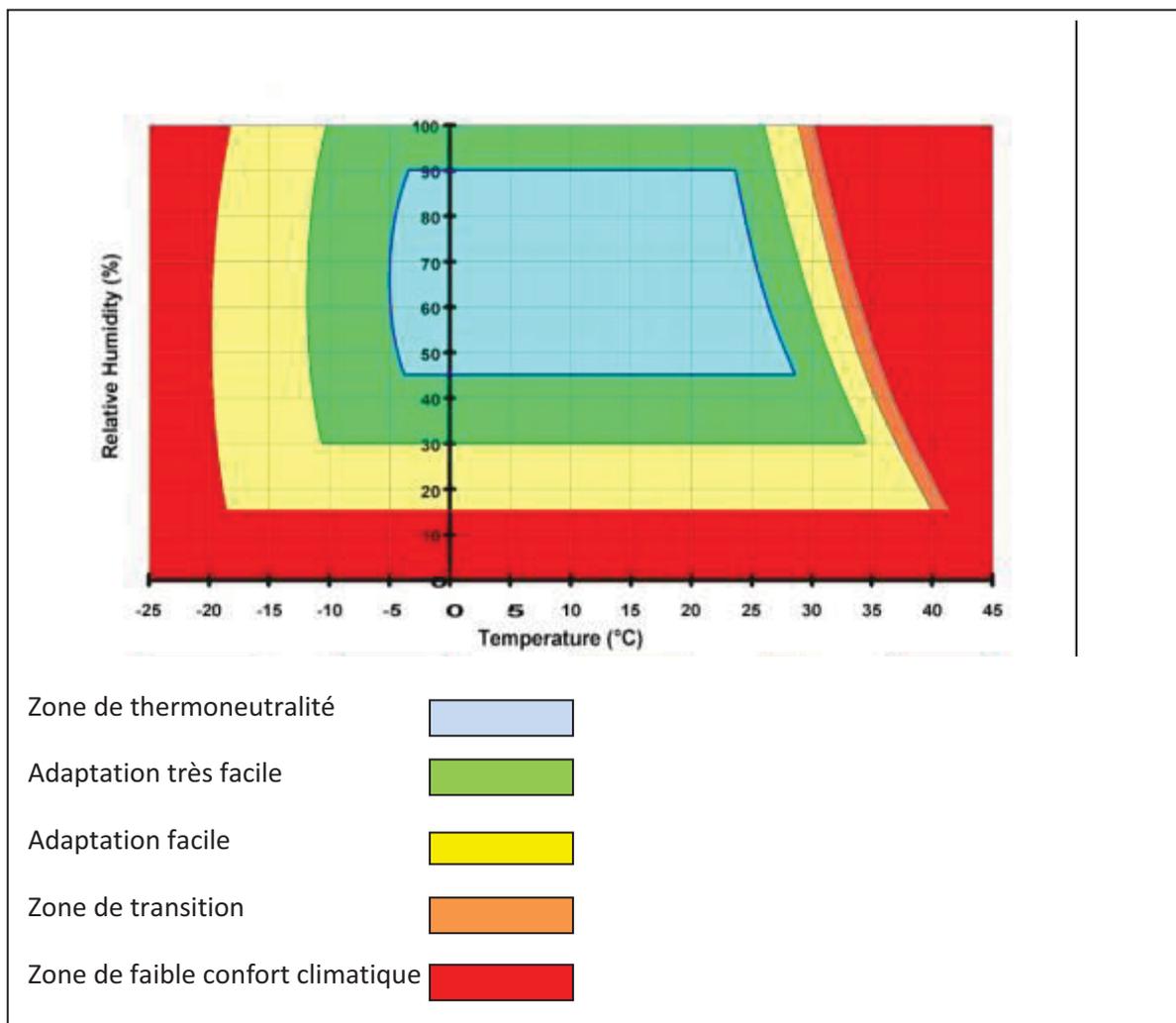
Figure 7 : Capacité d'adaptation des bovins à la température ambiante.



On peut considérer que le bien être climatique acceptable regroupe les zones d'adaptation sans effort et d'adaptation facile. Au-delà, l'effort d'adaptation est tel que le bien être est menacé.

Cette approche par variation progressive du stress climatique global a ensuite été envisagée en deux dimensions par J. Capdeville dans 10 et 9 (figure 8), comprenant la température et l'humidité.

Figure 8 : proposition de zones de confort climatique en fonction de l'effort d'adaptation des bovins. Diagramme en deux dimensions prenant en compte température et humidité. (d'après 9)



est importante. Ensuite, ce graphe a été établi suite à des observations dans certaines conditions. De nombreux facteurs peuvent déplacer légèrement les courbes.

3. Bilan sur la définition du stress thermique.

Dans toutes les considérations précédentes les valeurs varient selon les races de bovins. Des études menées sur des races adaptées génétiquement à des environnements chauds et humides ne donneront pas les mêmes valeurs que pour des races continentales (55, 56, 57).

De façon générale, la zone de neutralité thermique c'est à dire celle où aucun effort d'adaptation n'est nécessaire pour maintenir la température interne serait comprise pour les bovins adultes entre -10 et $+30^{\circ}\text{C}$.

Si on considère acceptable pour le bien être animal un effort d'adaptation facile l'amplitude thermique acceptable est entre -15 et 35°C .

Ces seuils varient avec l'âge et notamment tant que le jeune veau n'est pas ruminant la limite basse est plus élevée et voisine de 0°C .

La durée du stress est aussi un facteur important bien que très peu documenté. En effet, après l'exposition plus ou moins longue à un stress thermique (chaud ou froid), le bovin développe une capacité de récupération. Si des conditions climatiques pour lesquelles l'effort d'adaptation est minime suivent un stress thermique de courte durée, une récupération est possible et le bien être de l'animal pourrait ainsi être considéré comme peu atteint. La difficulté réside dans la définition de valeurs pour cette « courte durée » et des conditions de récupérations.

B. Facteurs de risque du stress thermique : différences de sensibilité au stress thermique.

Certains facteurs sont capables d'augmenter ou de diminuer l'impact du stress thermique sur les bovins.

- La race : Plusieurs études montrent les différences de sensibilité selon les races bovines étudiées pour un même stress thermique. Elles se basent sur la mesure de scores de fréquence respiratoire, de température centrale. Dans l'étude 106 menée sur trois races différentes, la race Charolaise réagissait plus précocement en augmentant sa fréquence respiratoire lors d'une élévation de température que la race Angus.

Le gène culard modifie aussi la sensibilité au stress thermique (16). Un groupe de bovins culard et un groupe de bovins normaux ont été soumis à une élévation progressive de température. Leur température rectale a augmenté au cours de l'expérience mais la différence entre les deux groupes s'accroît avec l'élévation de température. De même, le rythme respiratoire des bovins culards est élevé dès le début de l'application du stress thermique.

- Le niveau d'hydratation et d'alimentation : La privation d'eau augmente l'impact du stress thermique sur les bovins. En effet, l'eau est nécessaire à la thermorégulation par évaporation, ainsi la déshydratation et l'augmentation de la concentration du sang en ions va réduire la capacité d'évaporation et provoquer une augmentation de la température rectale plus rapide (56). Les bovins ont, de plus, de

faibles capacités de rétention d'eau au niveau du rein. Un déséquilibre alimentaire et une déficience énergétique augmentent aussi la sensibilité au stress thermique.

- Le tempérament : la même étude (17) montre que les bovins calmes avaient des fréquences respiratoires plus faibles que les bovins excitables pour des stress thermiques égaux.
- L'acclimatation : ce phénomène se produit lors d'une exposition prolongée (quelques semaines) à des facteurs environnementaux différents de ceux connus préalablement. C'est ainsi que les bovins élevés dans des zones chaudes et humides ont une thermorégulation plus efficace dans la lutte contre la chaleur.

C. Les indicateurs de stress thermique.

Nous avons vu qu'il est difficile de donner des valeurs limites pour définir le stress thermique. Cela provient aussi du fait qu'aucun indicateur validé n'est disponible pour l'évaluer. Nous allons voir quelques indicateurs.

1. Indicateurs biochimiques

Les processus de thermorégulation requièrent l'activation de l'axe adrénargique et la sécrétion d'hormones (cf. les mécanismes généraux du stress 1). Le premier système mis en jeu dans la réponse au stress thermique est le système sympathique, la réponse corticostéroïdienne intervient ensuite. Il est donc intéressant de doser les concentrations en adrénaline, noradrénaline, ACTH et cortisol pour avoir une indication sur l'état de stress de l'animal. Le cortisol reste cependant le meilleur paramètre à doser car sa demi vie est la plus longue (20 min contre 2min pour la Noradrénaline).

Dans l'article 12, un tableau résume la variation de ces indicateurs de stress thermique. Le cortisol augmente dans le plasma que ce soit lors d'un stress de chaleur ou d'un stress du au froid. Pour un stress thermique aigu, la concentration plasmatique en cortisol augmente en 20min et atteint son maximum en 2h (56). Cependant, si le stress thermique se prolonge, on observe une diminution du cortisol plasmatique signant une adaptation au stress.

Lors d'une augmentation de température, l'adrénaline augmente, elle permet notamment la vasodilatation nécessaire à la thermorégulation par convection. Inversement, lors d'une baisse de température, c'est la noradrénaline que l'on retrouve dans le plasma, responsable de la vasoconstriction.

Le phénomène de polypnée thermique induit une alcalose respiratoire et une élimination plus forte de CO₂. Il a été observé chez des moutons (57) une augmentation du ph qui restait cependant dans les limites physiologiques. La balance acido basique est donc relativement conservée lors de stress thermique du a la chaleur.

Le tableau 8 synthétise ces données :

Tableau 8 : Indicateurs biochimiques mesurables et significatifs lors de stress thermique :

	Stress de chaleur	Stress du au froid
Adrenaline/noradrenaline 5	+ adrénaline	+ noradrenaline
Cortisol/ACTH 5/56	+	+
Activité de la Créatine Kinase 8/57	+	/
Pression partielle en CO2 57	-	/
PH 57/8	+	/

2. *Indicateurs physiologiques*

De nombreuses publications (57, 18, 12, 19, 20) ont suivi l'évolution de la fréquence respiratoire et la température rectale lors d'augmentation de la température afin de conclure sur la corrélation entre ces potentiels indicateurs et le stress thermique.

Les conclusions semblent être unanimes. Tout d'abord, la mesure de la fréquence respiratoire apparaît comme la méthode la plus accessible et la plus juste pour évaluer l'impact d'un stress de chaleur sur l'animal. Dans 56, la qualification des différentes valeurs a été ainsi divisée : fréquence peu augmentée (40 à 60 respirations par minutes), fréquence moyennement augmentée (60 à 80 rpm), fréquence fortement augmentée (80 à 120 rpm) et stress de chaleur sévère (plus de 150 rpm). Une étude portant sur des bovins à l'engrais (77) montre une augmentation significative de la fréquence respiratoire lorsque les conditions climatiques deviennent plus chaudes.

La température rectale suit la même variation mais semble moins corrélée à l'augmentation de la température ambiante. L'expérience de l'article 20 montre qu'une grande partie de l'élévation de température rectale lors de la journée n'est pas due aux différences de THI (pour des THI variant peu autour de la normale de 72). La température rectale suit un rythme circadien, la relation causale entre THI et température rectale est cependant observée pour des THI élevés.

Ainsi, dans l'étude 18 menée sur des bovins à l'engrais, la température rectale augmente significativement avec l'augmentation des températures ambiantes. Il en va de même pour la fréquence respiratoire.

Contrairement à la fréquence respiratoire pour laquelle des valeurs et une graduation sont données pour évaluer le stress en fonction de la fréquence, il n'y a pas de données pour la température. A partir de quelle élévation peut-on parler de stress thermique, sachant de plus que cette température varie dans la journée (amplitude de 1°C) ?

Les signes associés à la déshydratation sont aussi importants à prendre en compte lors de températures élevées. L'élasticité de la peau, l'enfoncement de l'œil dans son orbite sont considérés comme de bons indicateurs de déshydratation (12).

La fréquence cardiaque a aussi été étudiée, elle augmente lors de stress de chaleur (58).

3. Indicateurs comportementaux

Le comportement alimentaire se trouve modifié par le stress thermique, la prise alimentaire est diminuée (cf tableau 9).

Le positionnement des bovins dans l'espace est aussi un bon indicateur de stress thermique, la recherche de l'ombre ou au contraire d'endroits frais peut orienter sur l'état de confort du bovin par rapport aux conditions environnementales.

On peut aussi observer les frissons thermiques lors de stress du au froid.

Le stress thermique est donc difficile à définir et à évaluer avec des indicateurs vérifiés et étalonnés. De façon générale, lorsqu'un bovin produit un effort d'adaptation par rapport à des modifications de son environnement thermiques, on peut considérer qu'il présente un état de stress thermique et que les réactions physiologiques au stress sont mises en route.

Au cours de cette première partie, nous avons vu que l'état de stress thermique était difficile à définir et dépendait de nombreux paramètres. Etudier cet état chez 'un bovin, et donc son état de bien être, c'est évaluer le microclimat auquel il est soumis et savoir mesurer les modifications de ce dernier. La température et l'humidité sont deux facteurs majeurs dans cette évaluation. Au cours de sa vie, un bovin peut être soumis à des variations climatiques, dans les bâtiments mais aussi et surtout lors du transport pour des raisons commerciales. On peut alors se demander quels sont les facteurs qui définissent le microclimat dans un camion de transport et quelle est l'origine de leurs variations. Il est aussi important de s'intéresser aux conséquences de ces variations sur le bien être des bovins pour comprendre la législation en vigueur sur ce sujet. Nous allons donc étudier les paramètres importants dans les variations de température et d'humidité lors de transports en Europe sur de longues distances.

Partie 2 : LES PARAMETRES D'AMBIANCE LORS DU TRANSPORT ROUTIER DES BOVINS : EVALUATION ET CONSEQUENCES EN TERMES DE BIEN ETRE.

Cette partie permet d'aborder les conditions climatiques lors du transport longue durée sous un aspect pratique afin de mieux comprendre les niveaux de stress thermique auxquels les bovins peuvent être soumis. Pour cela, nous verrons quelques données sur différents aspects du transport, puis nous étudierons les paramètres d'ambiance dans un camion, leurs variations et leur maîtrise. Les transports longues durées de bovins en zone intra-communautaire sont développés ici, nous prendrons quelques exemples d'autres pays en dernière partie.

I Principaux aspects du bien être lors du transport routier sur de longues distances : enjeux et importance des conditions climatiques.

A. Enjeux économiques et sanitaires du transport routier.

1. Le marché du transport dans l'Union Européenne.

L'Union Européenne est une communauté économique composée de forts contrastes géographiques à l'origine d'une grande diversité de modes d'élevage. La majeure partie des bovins sont élevés en Allemagne, au Royaume Uni et en France. De nombreux échanges sont nécessaires entre les pays de la Communauté Européenne du fait de la diversité de l'élevage et des modes de consommation.

Le cheptel bovin européen compte 80 millions d'animaux (26) :

- l'Allemagne et la France regroupent 37% de ce cheptel ;
- L'Italie en possède 7,6% ;
- La Pologne 6% (d'après 54, p 350/360).

En termes de consommation, des différences sont à l'origine de flux commerciaux de bovins vivants ou de carcasses. Par exemple, le bœuf représente seulement 8% de la consommation totale de viande en Pologne alors qu'il représente 25% en Italie. Etant donné cette faible demande pour la viande de bœuf en Pologne, un marché important entre la Pologne et l'Italie s'est créé. L'Italie présente de nombreux centres d'engraissement (50000 en 2004) et reçoit des jeunes bovins depuis les pays comme la Pologne mais aussi l'Allemagne et la France.

Le transport d'animaux se justifie donc dans la distance entre les zones de forte production et celles de forte consommation.

Pour des raisons économiques et sanitaires, le nombre d'abattoir a diminué ces dernières années parallèlement à l'accroissement de leur taille. Le transport vers les abattoirs représente ainsi la majeure partie des destinations des bovins transportés.

En 2002, les transports de bovins dans l'Union ont concerné 45 millions de bêtes dont 29 millions destinés à l'abattoir et 16 millions à l'élevage dans un autre pays. Les plus grands importateurs de viande et d'animaux vivants sont l'Italie, l'Allemagne, le Royaume Uni et la Grèce. L'Allemagne, l'Irlande l'Espagne et la France, sont les plus gros exportateurs de bovins vivant ou de viande(26).

Le tableau suivant (tableau 10) illustre les importances relatives des six plus grands flux commerciaux de bovins vivants dans l'Union Européenne. Le transport de France vers l'Italie, toutes catégories de bovins confondues, représente une part importante du marché. L'Italie est la destination la plus fréquente.

Tableau 10 : Les 6 principaux flux de bovins représentés en % de bovins transportés sur le marché Européen en 2006. (d'après 21)

Origin	Destination	% of all cattle transported in 2006	
France	Italy	17 %	of ICT
Poland	Italy	10 %	of ICT
Poland	Spain	9 %	of ICT
Poland	Netherlands	6 %	of ICT
France	Spain	4 %	of ICT
Ireland	Spain and Italy	3 %	of ICT

ICT : Intra Community Trade

Les trois principaux flux apparaissent grisés.

principaux

flux se font entre points distants de plus de 1 000 km.

L'essentiel du transport d'animaux vivants s'effectue par la route (environ 90% en Europe d'après Xavier Philipe, 66). Le succès du transport routier s'explique d'une part par sa rapidité : une quinzaine d'heure sont nécessaires pour l'acheminement de bovins depuis le Limousin jusqu'en Toscane (66) ce qui permet un embarquement et une livraison aux heures d'ouverture des marchés. D'autre part le transport routier présente un prix de revient peu élevé par rapport au transport ferroviaire ou maritime. Enfin, par rapport au transport ferroviaire ; le transport routier ne crée pas de rupture de charge. Le camion achemine directement des centres d'alotement vers les destinataires alors que les wagons n'assurent le plus souvent le trajet que de gare en gare.

2. La place des trajets de longues distances dans le transport d'animaux vivants.

Le transport longue distance se définit réglementairement par une durée de plus de huit heures pour les bovins sevrés dans des véhicules aménagés. La durée maximale de transport est de :

-29h pour les bovins sevrés: 2 fois 14 heures espacées de 1 heure de repos.

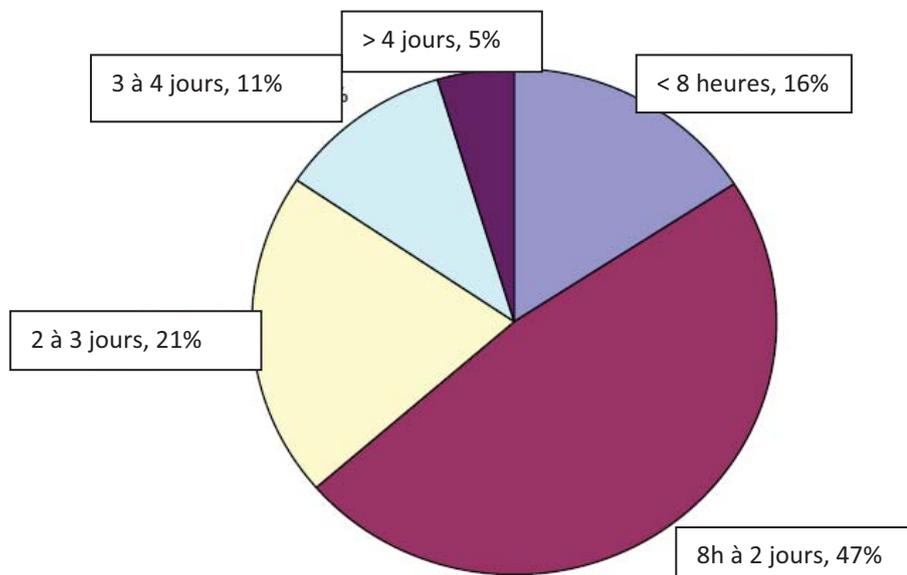
- 19h pour les bovins non sevrés : 2 fois 9 heures de transport espacées de 1 heure de repos.

La durée maximale de la seconde période peut être rallongée de 2 heures lorsque le lieu de destination finale est proche. Les voyages de longues durées sont interdits pour les veaux de moins de 14 jours sauf s'ils sont accompagnés de leur mère.

La figure 9 illustre la proportion des voyages de différentes durées dans l'Union Européenne lors d'une étude conduite sur plusieurs transports en conditions commerciales pendant un an (21).

Les voyages de plus de 8 heures représentent 84% des trajets. Les 21% de voyages qui durent 2 à 3 jours sont des transports pour lesquels des pauses et un déchargement sont obligatoires.

Figure 9 : durée des trajets suivis lors de l'étude (d'après 21)



En termes de kilomètres, cela représente des distances du point de départ au point d'arrivée de plus de 1 000km. Les transports longs durés sont donc fréquents dans l'Union.

Chaque année, l'export de bovins depuis les trois premiers pays exportateurs mobilise 10 000 camions équipés pour de longues distances (26).

Ces dernières années, les transports sur de longues distances ont eu un essor important. Cela s'explique par la diminution du nombre d'abattoir et par la spécialisation de certains pays dans certaines étapes d'élevage.

3. Qualité et aspects sanitaires.

Le transport de bovins sur de longues distances représente des enjeux économiques conséquents, du fait de sa durée et de son aspect transfrontalier, il représente aussi des enjeux en termes de qualité et de sécurité sanitaire.

La réponse physiologique au stress lors du transport peut modifier la qualité de la viande. L'action du cortisol sur le glycogène musculaire perturbe les processus de maturation (51), on remarque aussi une acidification du sang (respiration plus rapide). Le fait de transporter des animaux dans un milieu confiné peut aussi provoquer des blessures altérant la qualité de la viande. Une étude menée sur des bovins de différentes races montre des blessures, contusions et lacérations fréquentes au niveau du thorax et de l'abdomen. Plus le trajet est long plus ces blessures sont présentes (7).

Le transport est aussi un facteur aggravant dans la dispersion des maladies pour deux raisons. Tout d'abord, comme nous l'avons vu dans le I.1, la synthèse de cortisol lors d'un stress diminue l'efficacité du système immunologique, les bovins transportés sont donc moins aptes à lutter contre les maladies qu'ils incubent ou qu'ils rencontreront à leur arrivée. De plus, la mise en commun de lots de différents élevages et leur transport d'un pays à un autre peut augmenter le risque d'échanges de maladies.

Des fédérations d'éleveurs attirent l'attention sur l'importance de prendre en compte les aspects économiques et pratiques dans l'établissement de règles de transport des animaux (66). Ils soulignent aussi l'importance de l'avis des scientifiques sur les facteurs de stress et leurs conséquences sur le bien être.

B. Transport routier sur de longues distances et facteurs de stress.

1. Facteurs de stress et conséquences sur les bovins (d'après 45).

Les effets du transport routier sur le bien être peuvent être de trois natures différentes dus: aux interactions entre les bovins et les hommes lors du chargement et déchargement, aux interactions entre les bovins lors du transport et aux interactions avec l'environnement.

T. Grandin souligne l'importance des manipulations des bovins dans les élevages ou pendant les transports (d'après 53, p 170). De nombreuses études ont montré que le chargement des bovins dans le camion avait un effet important sur leur bien être : de part la nouveauté de l'environnement, mais aussi de part la proximité avec les humains.

Une fois à bord du véhicule, les bovins présentent des interactions sociales à l'origine de stress. Après une période d'acclimatation plus ou moins longue, il semble que la majeure partie des bovins se couchent lorsqu'ils en ont l'occasion (selon la conduite et le type de route, 22). Les interactions entre bovins et la stabilisation de la situation dépendent fortement de la densité de chargement. Enfin, lors du transport, l'environnement physique et le manque d'eau et de nourriture constituent des facteurs de stress.

Lors du trajet, les bovins subissent de brusques variations de températures (3). Des températures extrêmes auxquelles le bovin ne peut pas se soustraire peuvent devenir stressantes. En effet, des températures froides accentuent les effets du retrait de nourriture et les températures hautes augmentent le risque de déshydratation (43). La durée du transport est très importante puisqu'elle détermine le temps d'exposition à ces facteurs de

stress. L'âge et les conditions de santé des animaux sont aussi des facteurs influençant la sensibilité au stress du transport.

L'évaluation de l'effet de ces facteurs sur le bien être lors du transport s'appuie sur la mesure d'indicateurs biochimiques, physiologiques et comportementaux. Cela permet d'évaluer l'état de déshydratation, de mobilisation des réserves énergétiques, de fatigue musculaire. On observe alors les comportements de rumination, les mouvements et les pertes d'équilibre (23).

De façon générale, pour des taurillons ou des bovins adultes, le transport semble être un événement peu stressant, les variations des indicateurs de stress ne sont pas extrêmes et semblent plutôt correspondre à une adaptation normale aux facteurs nouveaux rencontrés lors du transport (23, 46). Il n'en reste pas moins important d'assurer des conditions de bien être optimales pour que le transport soit le moins stressant possible.

2. Enjeux éthiques soulevés par l'importance des facteurs de stress lors du transport

Le transport sur de longues distances est devenu une des cibles des associations de protection animale depuis quelques années. Il y a de réelles demandes quant à :

- La réduction des temps de transport de bovins vivants ;
- Un transport préférentiel des carcasses par rapport aux animaux vivants lorsque les trajets ne peuvent être réduits en temps.

Les **Organisations Non Gouvernementales** ainsi que de nombreuses associations des pays membres militent auprès de la Commission Européenne pour un travail commun entre les gouvernements des pays concernés, la filière de l'élevage et les consommateurs.

Certaines associations ont un rôle important dans la prise de décisions européennes. L'association Eurogroup for Animal Welfare, basée à Bruxelles, rassemble les principales structures de protection animale des pays membres. Son objectif est de « protéger les animaux par la législation ». Elle détient un rôle consultatif au Conseil de l'Europe et dépose parfois des recommandations à la commission Européenne sur des sujets tels que le transport d'animaux vivants. Récemment, le transport des carcasses en alternative au transport longue durée a été fortement évoqué.

Le transport des carcasses a été étudié à différents niveaux (53). Economiquement, lorsque toutes les conditions imposées par l'UE sont réunies pour le transport d'animaux vivants, il s'avère plus coûteux de transporter les animaux vivants. La préparation des carcasses, différente dans chaque pays, peut poser problème lorsqu'on abat et découpe dans un pays des animaux destinés à un marché de consommation aux habitudes différentes. Enfin, les abattoirs sont peu nombreux, préférer le transport de carcasses supposerait une plus grande densité d'abattoirs sur le territoire Européen.

L'OABA (**C**Œuvre d'**A**ssistance aux **B**êtes d'**A**battoir) fait partie des nombreuses associations de protection animale française. Elle a été la première association à se

préoccuper des conditions de transport des animaux de boucherie. L'OABA dispose d'un réseau d'enquêteurs en charge de surveiller les lieux de chargement et de commerce des animaux de boucherie. Elle possède un statut d'association d'utilité publique et peut ainsi se porter parti civil lors de procès concernant la protection animale.

3. Législation actuelle visant à améliorer le bien être lors du transport.

Les normes de densité de chargement actuelles apparaissent être les normes optimales pour le transport. La densité autorisée (règlement 1-2005) est de 0,30 à 0,95 m² par animal pour les veaux et de 0,95 à plus de 1,60 m² par animal pour les bovins adultes. Le tableau 10 montre les densités adaptées à chaque type de bovins.

Tableau 10 : densités de chargement réglementaires (règlement CE 1/2005) pour le transport des bovins.

<u>Catégorie</u>	<u>Poids moyen (en kg)</u>	<u>Surface en m²/animal</u>
<u>Bovins moyens</u>	<u>325</u>	<u>0,95 à 1,30</u>
<u>Gros bovins</u>	<u>550</u>	<u>1,30 à 1,60</u>
<u>Très gros bovins</u>	<u>> 700</u>	<u>> 1,60</u>

D'autres recommandations figurent dans la réglementation, notamment des normes d'équipement des véhicules (rampes non glissantes pour le chargement, cloisons mobiles pour la séparation des lots de bovins).

4. La place des conditions climatiques dans le bien être lors du transport routier.

Les paramètres d'ambiance lors du transport de bovins sont mentionnés dans tous les articles traitant du bien être en cours de transport comme de potentiels facteurs de stress (41, 43). Des expérimentations sur l'effet des variations de température sont régulièrement menées en conditions réelles.

Les conditions climatiques lors du transport occupent une place importante dans les recherches scientifiques pour plusieurs raisons. Tout d'abord, c'est un sujet qui touche particulièrement l'opinion publique : l'été sur les autoroutes du Sud de l'Europe, se côtoient camions de transport et touristes...(50). C'est donc un sujet sur lequel la Commission Européenne établit des règlements basés sur des avis scientifiques. Ensuite, les paramètres climatiques sont difficiles à maîtriser du fait des nombreux facteurs de variation, des études sont donc nécessaires pour mettre au point et tester des moyens de maîtrise. Enfin, c'est un des seuls facteurs dont l'exposition aux valeurs extrêmes peut provoquer la mort des animaux (6).

Il est donc important de s'intéresser aux éléments qui déterminent les valeurs des paramètres climatiques dans un véhicule transportant des bovins sur de longues distances. Ainsi, nous serons plus à même de comprendre la législation actuelle et de proposer des

moyens de maîtrise des paramètres d'ambiance en tenant compte des aspects économiques, scientifiques et pratiques.

II Paramètres d'ambiance et stress thermique dans un véhicule de transport : définition, impact sur le bien être et moyens de maîtrise.

Afin de donner des directives pour maîtriser les conditions climatiques lors d'un transport de bovins il faut avoir pris connaissance des conditions « idéales » pour le bien être et des moyens de maîtrise dont ont dispose pratiquement. Nous allons donc voir ce qui détermine l'ambiance dans un camion et les conséquences sur les bovins puis les moyens à mettre en œuvre pour la maîtrise de l'ambiance en fonction des conditions économiques et techniques.

A. Température et humidité dans le camion, une combinaison de plusieurs facteurs.

Le microclimat à l'intérieur d'une bétailière roulant dans certaines conditions et transportant un certain nombre de bovin résulte de l'interaction entre les conditions climatiques extérieures, la production de chaleur et d'humidité des bovins et de la ventilation propre au camion.

1. La température, l'humidité, l'insolation et la vitesse du vent à l'extérieur du camion.

L'influence des conditions météorologiques à l'extérieur du camion a été étudiée en mesurant simultanément les températures et humidités extérieures et intérieures lors de transport. De façon générale, des capteurs sont placés à différents endroits dans et hors des camions.

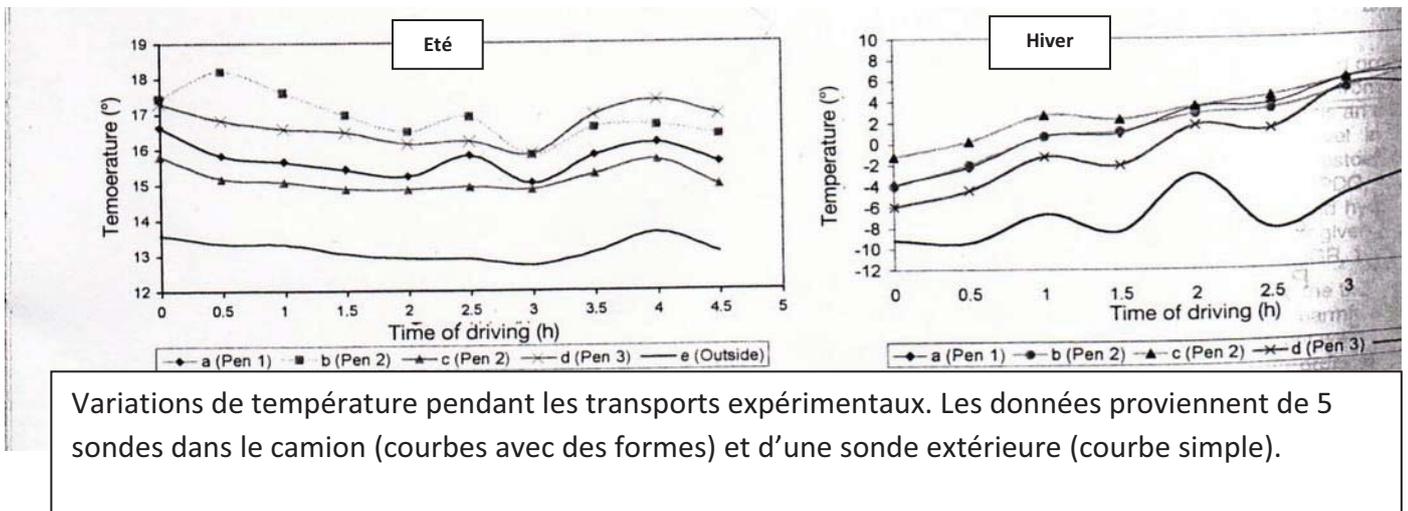
- Influence de la température extérieure :

Les mesures effectuées sur des transports de bovin en Suède révèlent plusieurs points concernant la température (2). En moyenne, la température à l'intérieur du camion est plus élevée que la température extérieure : on observe des différences de 2 à 3°C. En hiver la différence de température peut être très forte. La plus grande différence s'observe pour des températures extérieures très basses (de l'ordre de -10°C) : il fait alors environ 6°C dans le camion, soit un écart de 16°C. En été, la différence de température ne dépasse pas 4°C.

Les résultats modélisés sur les graphes ci-dessous nous donnent une idée des variations parallèles de la température dans le camion et de celle à l'extérieur. Ces observations ont été confirmées dans d'autres études (10, 21).

Exemple : pour une température extérieure variant dans un intervalle de -1°C à 28°C au cours du transport, la température à l'intérieur du camion oscille de la même façon que la température extérieure mais dans l'intervalle 5 à 31°C (21).

Figure 10 : variations de température à l'intérieur du camion et à l'extérieur en fonction du temps de conduite lors des jours d'été et d'hiver. (D'après 24)



Tout d'abord les rayonnements solaires réchauffent la surface exposée du camion, par conduction, l'air dans le camion se réchauffe. Cela est très bien illustré par les différences de températures remarquées au cours des études entre le tiers supérieur du compartiment du camion et le tiers inférieur (21, 25). Bien que les toits des camions soit d'un matériau isolant, la température dans le tiers supérieur est plus élevée et cette différence est accrue lorsque le camion est à l'arrêt (27). Les rayonnements solaires entraînent donc une augmentation de la température de l'air à proximité des surfaces exposées du camion. Ensuite l'air à température ambiante pénètre dans le camion par les ouvertures et réchauffe ou refroidit l'ambiance à l'intérieur.

- Influence de l'humidité :

En ce qui concerne l'humidité, les valeurs mesurées dans l'étude (21) montrent que l'humidité est légèrement plus faible à l'extérieur. Les variations entre extérieur et intérieur sont difficiles à mettre en relation.

L'humidité extérieure influe peu l'humidité à l'intérieur du camion, si ce n'est lorsqu'il pleut et que l'eau rentre dans le camion. Comme les températures internes sont souvent plus élevées, les phénomènes d'évaporation peuvent se produire plus facilement.

On peut donc conclure que la valeur du THI à l'intérieur du camion est corrélée avec les paramètres extérieurs et que cela varie en fonction des ouvertures situées sur les parois des camions, du mouvement du véhicule, de la durée du transport et de son exposition au soleil.

2. La production de chaleur et d'humidité par les bovins.

Le facteur majeur déterminant le microclimat dans le camion est la production de chaleur et d'humidité par les bovins.

Lors des transports expérimentaux, la présence des animaux provoque une augmentation des températures, particulièrement lors du transport l'hiver et pendant la nuit. En été, la présence d'animaux provoque peu de surplus de chaleur dans le camion (21). Les températures les plus élevées ont été relevées avec les plus fortes densités (24).

La chaleur et l'humidité générées doivent être dissipées en dehors du véhicule pour maintenir des conditions qui ne compromettent pas les processus de thermorégulation des animaux. Connaître les valeurs de chaleur et de vapeur d'eau produite est important pour mettre au point des systèmes de dissipation efficaces lors du transport.

- Production de chaleur :

On peut considérer que les bovins pendant le transport ont un métabolisme de base car ils ne sont pas ou peu nourris (28). Pour calculer la chaleur produite on applique alors l'équation (e 2). D'après cette équation, un bovin de 500kg produit environ 560W. A cette production de chaleur basale il faut ajouter l'augmentation de la thermogénèse lors de la lutte contre le froid (le métabolisme de sommet peut être 7 fois supérieur au métabolisme de base).

Selon la densité dans le camion et la température extérieure, la production de chaleur par un lot de bovins peut augmenter la température totale du camion de façon importante. Le chargement de 16 bovins adultes dans un camion à -16°C provoque une augmentation de température de 16°C en 2 heures (24).

Les bovins lors des manipulations lors du transport développent une réaction de stress dont nous avons vu les mécanismes dans le I. Les hormones du stress peuvent être à l'origine d'une augmentation de la température corporelle, c'est ce que l'on nomme « l'hyperthermie induite par le stress » (29). Les mécanismes sont encore peu connus et sembleraient être proches de ceux de la fièvre et indépendants de la température extérieure. Cette possible élévation de la température corporelle du bovin lors du transport ne modifie que peu la production de chaleur mais elle est à prendre en compte lorsqu'on se base sur la température rectale comme indicateur de stress thermique.

- Production d'humidité :

La production d'humidité par les animaux est le fait de la sudation et de la polypnée thermique (mécanismes de thermorégulation vus précédemment). L'évaporation depuis les fèces et les urines est aussi présente puisqu'on se trouve en milieu semi fermé mais la production d'humidité associée est difficile à estimer.

L'évaporation par les phénomènes de thermorégulation augmente avec la température. Pour des températures de 40°C, les données de pertes d'eau par sudation sont dans le tableau 4. Les conclusions de l'article 28 sur le calcul de la production de vapeur d'eau par les phénomènes de thermolyse insensible donnent l'équation suivante applicable lors du transport :

$$M_w = \frac{Q_i [0.36 + 1.48 \times 10^{-7} (T + 10)^4]}{2.5 \times 10^6 - 2327T} \quad (18).$$

(équation 3)

Mw : taux de production de vapeur d'eau en kg/s

Qt : chaleur basale produite à 20°C pour des masses de 30 à 1000kg (e2)

T : température en degrés C.

La production de chaleur et d'humidité est aussi à prendre en compte en fonction de la durée du transport. Lorsque les conditions climatiques se modifient, l'animal rentre dans une phase d'adaptation dans laquelle sa production de chaleur est modifiée pour lutter contre le froid ou la chaleur et sa production de vapeur d'eau augmente s'il doit lutter contre le chaud. Cela influe sur l'ambiance dans le camion, et on sait par exemple qu'une température élevée associée à une humidité forte diminue l'efficacité des processus de thermolyse insensible. La production de vapeur d'eau change alors au cours du transport. De même la production de chaleur varie : pour des températures basses, la production de chaleur due à la lutte contre le froid diminue progressivement avec le réchauffement de l'ambiance du camion.

Une étude portant sur le transport de porcs a mesuré les productions de chaleur et d'humidité en faisant fonctionner le camion comme un calorimètre et en contrôlant les sorties d'air par ventilation afin de mesurer la vapeur d'eau produite lors du transport. Un porc de 100kg présente une production maximale de chaleur de 200W et une production de vapeur d'eau de 0.0502 g/s (30). De telles expériences ont été réalisées sur des volailles dans des tunnels fonctionnant comme des calorimètres, mais aucune étude similaire n'a été conduite pour les bovins (31).

Le tableau 11 ci-dessous donne des valeurs estimées de production de chaleur basale en Watts (indépendante du temps) et de production de vapeur d'eau en g/kg de PV/h (dépendante du temps) pour différents temps de transport. Les valeurs sont données par compartiments en fonction de la densité de chargement et des espèces.

Tableau 11 : productions de chaleur et d'humidité pour différentes espèces.

Heat and moisture production of animals during transport				
		Pigs	Sheep	Calves
Liveweight	kg	100	45	70
Heat production	W/kg	2.0	1.5	2.5
	W/tonne	2000	1500	2500
	tonne/deck	8	4	5
	kW/deck	16	6	12.5
Moisture production	g/kg/hr	1.2	0.8	1.0
	kg/tonne/hr	1.2	0.8	1.0
	tonne/deck	8	4	5
	kg/deck/hr	9.6	3.2	5.0
4 hour journey	kg/deck	38.4	12.8	20.0
8 hour journey	kg/deck	76.8	25.6	40.0

Les productions de chaleur sont exprimés initialement en unité d'énergie (Watt) par unité de poids vif d'animal (kilogrammes), elles sont ensuite explicités en Watt par tonne, puis, en considérant la moyenne des chargements des compartiments des camions de transport, les données sont exprimées en Watt par compartiment. Cela permet d'avoir une idée plus concrète de la production de chaleur dans un compartiment chargé. Le même système est appliqué pour la production de vapeur d'eau. Au détail près que la production d'humidité est évaluée par unité de temps. (d'après 6)

Il est difficile de connaître exactement les quantités de chaleur et de vapeur d'eau produites par un lot de bovin dans un camion pendant une période de transport. On est donc forcé de se baser sur des valeurs théoriques et/ou expérimentales pour déterminer la ventilation nécessaire au maintien de conditions d'ambiance acceptables dans les camions.

B. La ventilation, élément clé dans la dissipation de la chaleur et de l'humidité.

Les mouvements d'air dans un camion présentent plusieurs intérêts, ils interviennent dans les échanges de chaleur entre l'animal et son milieu (échanges par convection) et sont essentiels dans la dissipation de la chaleur et de l'humidité produite par les animaux. La ventilation permet aussi la dissipation des gaz produits par les animaux (principalement ammoniac, méthane et dioxyde de carbone).

La ventilation peut présenter des inconvénients lors de transport par températures basses : elle augmente la sensation de froid (facteur de refroidissement éolien).

Les mouvements d'air dans le camion sont donc importants à étudier, cependant la circulation d'air à l'intérieur se fait selon un écoulement turbulent difficilement modélisable du fait de nombreux facteurs entrant en ligne de compte.

Nous allons étudier les différents types de ventilation et leur efficacité en conditions de transport.

3. Les systèmes de ventilation dans un camion de transport.

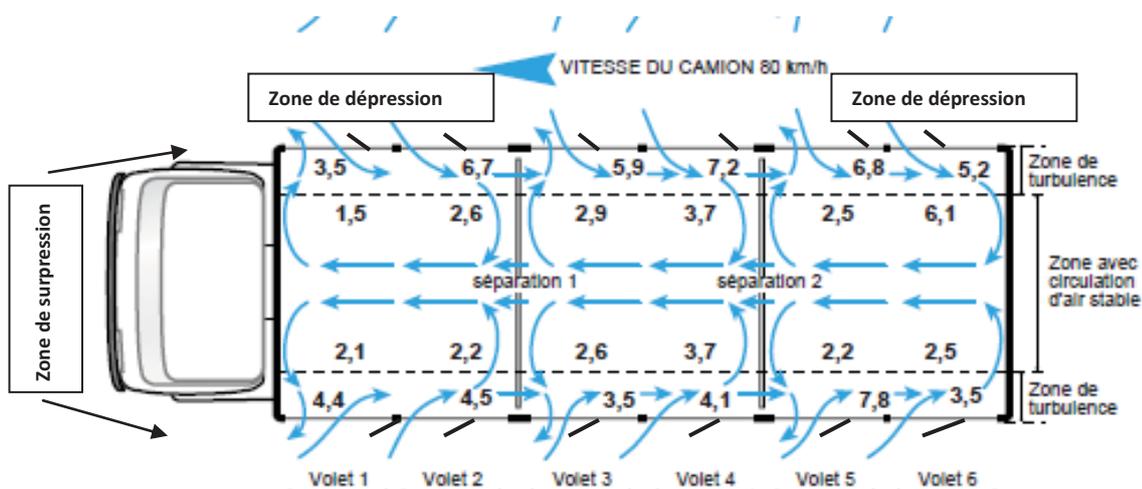
Il existe deux modes de ventilation dans les camions utilisés aujourd'hui.

- **La ventilation passive** repose sur des phénomènes thermodynamiques uniquement. Les mouvements d'air peuvent être dus à :

- Des différences de pression dues au mouvement du véhicule. L'air circule des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions. Lorsque le véhicule est en mouvement, un champ de pression se crée autour. L'intensité du champ de pression dépend de la vitesse du camion, de son type (un ou deux compartiments) et de la vitesse de vents dominants.

Le champ de pression généré par le mouvement du véhicule, les volets latéraux par lesquels l'air peut s'engouffrer et leur ouverture sont à l'origine d'une circulation particulière d'air dans le camion. Des études ont été menées associant fumigènes et anémomètres dans un camion de transport roulant à une vitesse moyenne de 80km/h par vent extérieur faible (<1m/s). La circulation d'air observée dans le camion est représentée sur la figure 12.

Figure 12 : circuits d'air et vitesses d'air dans un camion avec volets d'aération tous ouverts, les chiffres correspondent aux vitesses d'air mesurées en m/s. Les mesures sont effectuées dans des camions non chargés d'animaux. (D'après 32)



A l'avant du camion, on a une zone de surpression.

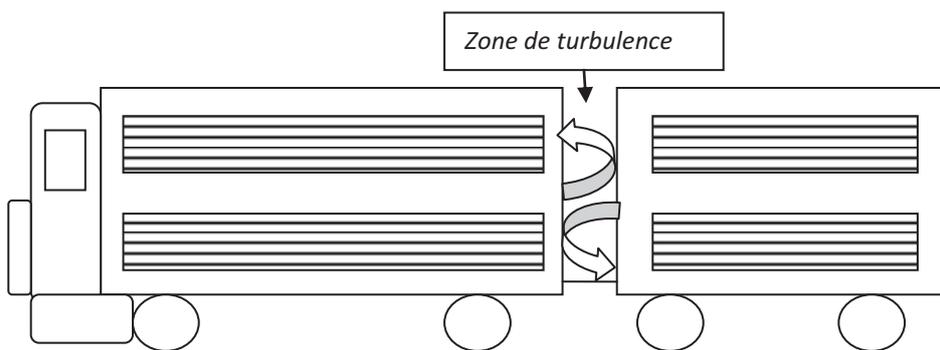
A l'arrière, on a une zone de circulation d'air stable dans le centre et sur les cotés des zones de turbulence.

On constate dans le camion une circulation d'air des cotés vers le fond du camion puis un retour de cet air vers l'avant pour sortir au niveau des volets latéraux à l'avant (volet 1).

Le mouvement d'air résultant dans la zone de circulation stable se fait de l'arrière vers l'avant du camion.

Lorsque le camion comporte une remorque, les mouvements d'air sont différents (figure 13, d'après 21). Le vide entre le camion et la remorque provoque des turbulences qui influent sur l'aération du camion et de la remorque.

Figure 13 : Mise en évidence de la zone d'instabilité d'air entre le camion et la remorque.



- La direction dominante du vent lorsque le véhicule est à l'arrêt. Pour un véhicule à l'arrêt, aucun champ de pression n'est créé et c'est donc la direction du vent qui conditionne la ventilation. Ce sont donc uniquement les ouvertures latérales des camions qui sont sollicitées. Cela n'est possible que lorsque le véhicule est garé dans la bonne direction par rapport au vent.
- Aux différences de températures, c'est la ventilation thermo induite. La différence de température entre l'extérieur et l'intérieur du camion tend à créer des mouvements d'air jusqu'à atteindre un équilibre des températures (33). Lorsque le camion est à l'arrêt, un côté est exposé au soleil et l'autre à l'ombre, il se crée donc une circulation d'air par ce même phénomène. Cela a très peu d'influence sur la ventilation et n'est souvent pas pris en compte.
 - **La ventilation active** est provoquée par des ventilateurs, leur position et les ouvertures des parois du camion déterminent l'efficacité de ce type de ventilation. Nous allons voir que la ventilation active est altérée par la ventilation passive.

Des ventilateurs assurent un mouvement d'air dans le camion, ils doivent remplir plusieurs rôles : assurer un flux d'air au niveau des animaux, garantir un THI optimal dans le camion, fonctionner en autonomie lorsque le camion est à l'arrêt, pouvoir s'adapter selon la valeur de la ventilation naturelle. On peut trouver des systèmes d'extraction d'air ou d'injection d'air.

Un ventilateur se compose essentiellement d'un moteur électrique qui fait tourner une turbine, laquelle propulse l'air. Le tout est maintenu par des supports dans un boîtier et protégé par des grilles.

Un ventilateur est principalement défini par :

- Un débit : Le débit d'un ventilateur représente la masse d'air que celui-ci peut déplacer pendant une unité de temps. Il est exprimé en m³/h.
- Une pression : celle de l'air à la sortie de la turbine du ventilateur. Exprimée en mm CE (millimètres de colonne d'eau)
- Une performance énergétique : Capacité du ventilateur de déplacer le maximum d'air pour chaque watt de puissance.
- Une stabilité : Capacité du ventilateur de maintenir un bon débit d'air quand la pression statique augmente.

Plusieurs facteurs font en sorte que le ventilateur sera plus ou moins performant :

- Le moteur, sa puissance et son efficacité énergétique ;
- La conception et le type de ventilateur (qui conditionnent le rapport débit/pression) ;
- Etc.

Il faut également tenir compte d'autres éléments :

- La position du ventilateur dans le compartiment du camion pour éviter la création de circuits préférentiels (en haut, au milieu ou en bas)
- L'orientation géographique (nord, sud, est, ouest) ;
- La direction et la vitesse des vents dominants ;
- Les conditions météorologiques du moment ;
- L'étanchéité du compartiment...

La plupart des véhicules circulant possèdent des systèmes d'injection d'air latérale. Des ventilateurs sont placés sur les parois latérales du camion et des ouvertures sont placées à coté. L'air est censé circuler d'un coté à l'autre du camion au dessus des animaux. Ce système semble très peu efficace car il est facilement modifié par la direction du vent et la ventilation passive vue précédemment. De plus, les entrées d'air se trouvent à coté des ventilateurs ce qui perturbe le bon fonctionnement de ceux-ci : il y a création de circuits préférentiels (10). Enfin, la chaleur due au fonctionnement des ventilateurs va être transmise à l'air injecté dans le camion et passer au dessus des bovins (34). Le système de ventilation par ventilateurs latéraux est donc peu efficace aux vues du champ de pression généré par un camion en mouvement. Par contre ce système peut être très performant sur un camion à l'arrêt.

Les systèmes d'extraction semblent être plus efficaces (34). La position des ventilateurs d'extraction est importante : ils doivent se trouver dans des zones de moindre pression pour mieux fonctionner (pas de résistance extérieure à l'extraction d'air depuis le camion). Les entrées d'air doivent être situées à des endroits pour lesquels on est sur que le flux d'air passera dans tout le camion avant d'être extrait.

4. Proposition de bétailère après expérimentations.

Un modèle de ventilation active a été proposé par Mitchell and all (34) puis par A. Brulé and all (10). Les ventilateurs extracteurs sont placés à l'avant du compartiment, en

position haute. Cette position permet que le flux ainsi généré soit plutôt dans la partie haute (au niveau de la tête des bovins) du camion. Cela implique que le mouvement d'air est efficace puisqu'il passe au dessus des bovins et qu'il n'est pas perturbé la présence et les mouvements des animaux.

Dans le modèle d'A.Brulé, 5 ventilateurs sont opérationnels, ils présentent des débits d'extraction modulables afin de pouvoir s'adapter aux différentes conditions climatiques. Une mise en route étagée des ventilateurs est donc possible. Le débit maximal d'un ventilateur de ce type est de $6.5\text{m}^3/\text{s}$. Les entrées d'air sont situées sur les parois latérales du camion et équipées de brise vent plus ou moins ouverts pour éviter les flux parasites et néfastes pour le bien être des animaux.

C. Bilan sur les conditions climatiques dans les véhicules et conséquences sur le bien être des bovins.

1. Niveaux de THI possibles dans les camions : y-a-t'il un risque réel ?

Connaitre les niveaux possibles de THI dans le camion implique de connaitre les variations de température et d'humidité relative lors d'un transport.

Connaissant la capacité calorifique de l'air, la production de chaleur par les animaux et la valeur de la ventilation dans le camion, on peut conclure quant à l'augmentation ou la diminution de chaleur dans le camion.

L'équation simplifiée suivante nous donne la relation existante entre ces paramètres :

$\text{VFR} = \text{TMHP} / \text{CP} \times \Delta T$	(équation 4)
VRF : taux de ventilation en volume (m^3) par seconde.	
TMHP : production totale de chaleur par les bovins en J/s.	
Cp : capacité calorifique de l'air, $\text{Cp}=1226 \text{ J/m}^3$. C'est la quantité de chaleur exprimée en Joules qu'une unité de volume d'air comporte.	

Exemple d'application : pour un compartiment de 8 bovins de 600 kg, la production totale de chaleur est de 3048 J/s, prenons la ventilation maximale théorique lors du transport expérimental de l'article 10 : $3.22 \text{ m}^3/\text{s}$. L'augmentation de température attendue lors du voyage est de 1.23°C .

On peut aussi donner des valeurs acceptables d'augmentation de température par rapport à la température extérieure et ainsi déterminer la ventilation nécessaire, c'est ce que nous ferons pour déterminer des consignes de ventilation en pratique pour les transporteurs.

Voici quelques exemples de THI mesurés lors de différents transports possédant différents systèmes de ventilation :

- Transport expérimental par A. BRULE (10, 41) : En conditions froides, les conditions climatiques restent dans les zones de thermo neutralité et d'adaptation facile. Quelques mesures se situent dans la zone de transition pour les conditions climatiques chaudes. Cela ne signifie pas forcément que les bovins étaient dans un état de mal être, nous ne savons pas combien de temps ont duré ces conditions.
- Transport en conditions commerciales, mesures des températures et humidité à plusieurs endroits. Les camions utilisés été équipés de ventilation passive et active plus ou moins mises en route selon les conditions extérieures et les habitudes du chauffeur. Sur les 1078 transports, la majeure partie présentaient un THI d'environ 74. 78 transports présentaient des THI élevés pendant toute la durée du transport (environ 10h) et peu de transports se faisaient dans des conditions de THI bas.
- Transport en conditions commerciales, ventilation passive avec ouvertures des volets latéraux contrôlable. Les valeurs d'humidité relative en été sont de l'ordre de 89,2 % et de 90.9 % en hiver (24).
- En 2006, des trajets de longues durées entre l'Allemagne et l'Italie ont été suivis. Les températures moyennes variaient de : - 0.8°C à 28°C.

2. Importance des valeurs de THI possibles pour l'établissement de la réglementation

Les valeurs de THI que l'on peut rencontrer au cours du transport sont la conséquence de l'interaction entre conditions extérieures, présence des bovins et ventilation. Les valeurs mesurées en pratique dans différentes conditions nous permettent de remarquer plusieurs choses importantes pour adapter la réglementation existante.

Tout d'abord, les THI relevés dans les camions diffèrent parfois des valeurs assurant le bien être que nous avons décrites dans la première partie. En effet, dans des conditions commerciales ou expérimentales de transport, les valeurs relevées ne sont pas toujours dans la zone de thermo neutralité ou d'adaptation facile. En conditions commerciales (21), les valeurs les plus élevées de températures dans les camions sont relevées en juillet avec une forte occurrence de mai à septembre. Des températures en dessous de 5°C sont relevées en février et mars (10). Pour les transports expérimentaux, la maîtrise de la ventilation n'est pas toujours aisée et il arrive aussi que les conditions dépassent les limites que l'on se fixe.

La température extérieure et la ventilation sont deux facteurs déterminant pour les conditions d'ambiance dans le camion, ces facteurs de risque seront à prendre en compte dans l'établissement de normes de températures dans les camions de transport sur de longues distances.

Ensuite, le dépassement de certaines limites de température n'entraînent pas forcément un état de stress aigu, cela dépend de la durée et de l'intensité, cela est donc aussi à prendre en compte dans la maîtrise des paramètres d'ambiance.

Enfin, il est important de noter qu'au cours de certaines études, on observe des variations de THI au sein d'un même compartiment (21, 10) : en conditions commerciales (91), des capteurs de température placés à l'avant et à l'arrière, en haut et en bas du camion ne donnent pas les mêmes valeurs. On peut avoir des différences jusqu'à 10°C, mais en moyenne, on observe des écarts de 3 à 4°C. Le même constat a été fait lors du transport en bétailière expérimentale (10), des écarts de températures sont relevés entre l'avant et l'arrière. De plus, la température mesurée au niveau des ventilateurs extracteurs est plus élevée que celle au niveau des animaux.

Ces gradients de température sont dus à des phénomènes physiques, à l'insolation du camion et à la possible résistance qu'opposent les bovins à certains types de ventilation.

En effet, les températures à l'arrière du camion sont généralement plus faibles, cela s'explique aisément par les mouvements d'air dans le camion que nous avons vu précédemment. Les gradients entre la partie supérieure et inférieure du camion s'expliquent par le phénomène de remontée de l'air chaud par rapport à l'air froids et par l'insolation au niveau du toit qui génère des températures plus élevées dans la partie supérieure du compartiment. Les animaux dans le compartiment, selon leur taille et leur densité peuvent gêner l'entrée et la circulation d'air dans le compartiment.

Ces phénomènes de variations de température au sein d'un même compartiment selon l'endroit où les mesures sont prises sont importants dans la mise en pratique du contrôle de l'ambiance.

Les bovins transportés en conditions commerciales sont donc susceptibles d'être soumis à des THI élevés.

Les réactions des bovins soumis à des THI trop élevés ou trop bas par rapport aux limites fixées pour leur bien être ont été mesurées.

3. Réponses des bovins dans des conditions de transport chaudes et froides.

Les paramètres physiologiques indicateurs de stress thermique varient de la même façon lors d'un stress thermique lors du transport que lors d'un stress thermique en élevage (cf. I). L'amplitude des variations peut cependant être différente du fait de la présence d'autres facteurs de stress (25).

Les processus de thermorégulation sont quasiment similaires. Les phénomènes d'échanges de chaleur par convection et d'évaporation peuvent être modifiés par la densité et la circulation d'air différentes de celles rencontrées en élevage.

Des adaptations comportementales aux conditions climatiques ont été observées lors du transport. Il s'agit de modifications de l'orientation et de la motricité dans le camion (8). Les incidences de positions en diagonale par rapport au mouvement du camion semblent être significativement plus élevées lorsque le THI augmente, cela est difficile à expliquer et ne se retrouve pas dans toutes les études sur le sujet.

D. Facteurs de risque de mauvaises conditions climatiques dans le camion

1. Densité de chargement

La densité de chargement est aujourd'hui limitée par le règlement européen.

Des densités de chargement élevées augmentent le risque d'atteindre des températures trop fortes dans le camion (24). De même, lors du transport des veaux pour lesquels les phénomènes comportementaux de thermorégulation (rassemblement) sont importants, la densité ne doit pas être trop faible.

La densité interfère avec la température mais aussi avec la ventilation. Des densités trop élevées gênent les mouvements d'air dans le compartiment.

De façon générale la densité est un facteur de risque dans l'élévation de la température et de l'humidité dans le camion, cette corrélation est d'autant plus forte que la température est élevée (21).

2. Durée du transport et pauses

Lors du transport sur de longues distances, une pause de 1 heure entre les deux fois 14 heures de route est obligatoire. Le chauffeur effectue aussi des arrêts. Ces arrêts sont un facteur de risque bien identifié dans les variations de THI dans le camion (24, 27).

En conditions hivernales, les arrêts pour le chargement de nouveaux animaux provoquent de façon générale une baisse de température et d'humidité dans le camion par entrée d'air froid. La baisse de température n'est pas quantifiée mais la différence entre la température extérieure et intérieure diminue d'environ 2°C (24).

En conditions estivales, la température et l'humidité augmentent lors d'une période de stationnement. Lors de transport expérimental de moutons (27), les THI ont été enregistrés lors des pauses. 34% des THI mesurés excédaient la valeur de 75. En moyenne le THI augmentait de 0.16 chaque minute lors des pauses (quelles que soient les conditions de pause). Ces valeurs sont valables pour des transports de moutons, on peut s'attendre à des valeurs plus faibles chez les bovins du fait de la production de chaleur de base moins élevée par kg de poids vif (tableau 3). L'étude a aussi montré que les conditions climatiques ambiantes pendant la pause, la valeur du THI dans le camion lorsque la pause débute et la durée de la pause sont des facteurs de risque significatifs dans l'augmentation du THI.

Les mêmes constats d'augmentation de température lors de pause ont été faits lors de transports de bovins (24). Les facteurs incriminés sont la ventilation quasi absente lors des pauses et l'insolation du camion.

Les pauses sont donc des facteurs de risques dans l'augmentation du THI dans le camion. Cela s'explique par la diminution de la ventilation à l'arrêt qui ne compense plus la production de chaleur par les animaux. Ces effets sont accentués par l'exposition du camion au soleil et l'allongement du temps de pause. Les recommandations sur la conduite à tenir lors des pauses sont donc importantes. Nous les verrons en dernière partie.

3. Ventilation

Nous avons vu que les différents systèmes permettaient une ventilation plus ou moins efficace lors du transport. Cependant, le plus important demeure l'utilisation optimale de ces systèmes.

4. Insolation et isolation du véhicule

Les matériaux utilisés dans la fabrication du toit et la conception du toit ont une influence sur l'augmentation de la température par phénomène d'insolation. De façon générale les toits sont en aluminium ou en alliage des métaux, certains toits sont bâchés.

L'isolation par la laine de verre est courante. La couleur du toit peut aussi constituer un paramètre important dans l'augmentation de la température dans le compartiment. Les couleurs foncées absorbent les rayonnements et transmettent cette énergie aux matériaux en contact par conduction. Les couleurs claires réfléchissent les rayonnements. Il est important de noter quelques caractéristiques des matériaux utilisés et leur importance.

5. Conception du véhicule

La conception du véhicule est souvent citée dans les articles, le nombre d'étage, le nombre de compartiments et surtout les dimensions des compartiments sont importants.

L'espace disponible au dessus de la tête des bovins est important pour le passage de l'air et les échanges thermiques, plus cet espace est diminué, plus le THI dans le compartiment risque d'augmenter. De plus la position des ouvertures par rapport au gabarit des animaux doit être prise en compte afin que le bovin ne constitue pas un obstacle à l'entrée d'air (28). Un véhicule bien conçu réduit donc les risques de stress thermique lors du transport.

6. Litière

La présence de litière est aussi un facteur important pour la température et l'humidité. En hiver, une litière sèche et abondante isole les bovins, une litière humide augmente la sensation de froid. En été, la litière est moins importante dans l'occurrence d'un stress thermique mais doit être mise à disposition selon les obligations réglementaires. En général, une litière de paille ou de copeaux de bois de 2 kg/m² est suffisante (44).

7. Abreuvement et alimentation

L'abreuvement et l'alimentation sont des points très discutés lors du transport sur de longues distances. La réglementation impose la présence d'abreuvoirs dans le camion et l'approvisionnement en nourriture lors des pauses. Ici encore la façon dont est mise en œuvre cette réglementation conditionne l'influence sur le bien être. L'abreuvement est important dans la lutte contre la chaleur, la thermorégulation par évaporation est consommatrice d'eau. Les abreuvoirs fonctionnent lors des pauses et doivent être placés de manière accessible. Il est important de noter que, pour que tous les types d'animaux transportés puissent avoir accès aux abreuvoirs, la hauteur de ceux-ci doit être étudiée. Ainsi, les veaux qui doivent être abreuvés en continu lors du transport n'ont pas toujours

accès aux abreuvoirs car leur hauteur est conçue pour une accessibilité par les adultes seulement.

8. Comportement du conducteur

Le conducteur agit surtout sur les systèmes de ventilation et sur la situation de son véhicule lors des pauses. Une bonne connaissance du véhicule et une bonne gestion de la ventilation et des pauses diminue le risque de stress thermique.

III Conditions de transport les plus rencontrées en Europe et exemple de transport type.

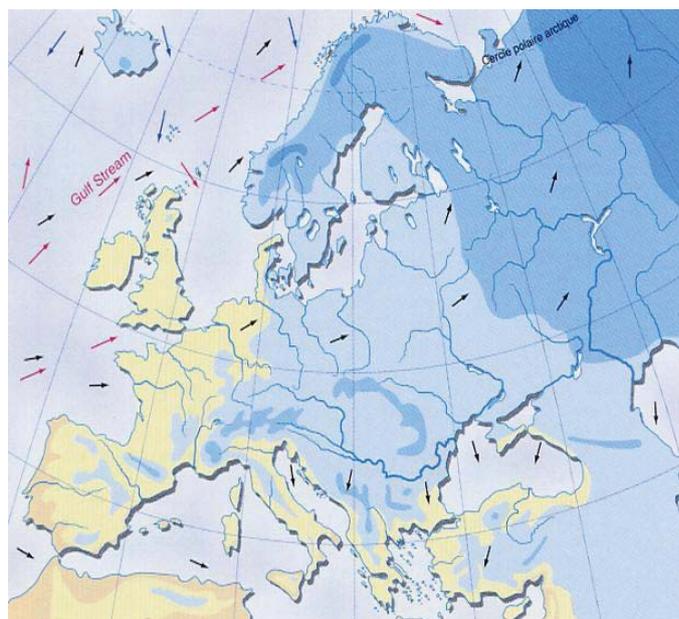
Il est important de connaître les aspects pratiques des transports longues distances afin de comprendre les contraintes auxquelles sont soumis les transporteurs, d'effectuer une analyse de risque et d'établir une réglementation applicable.

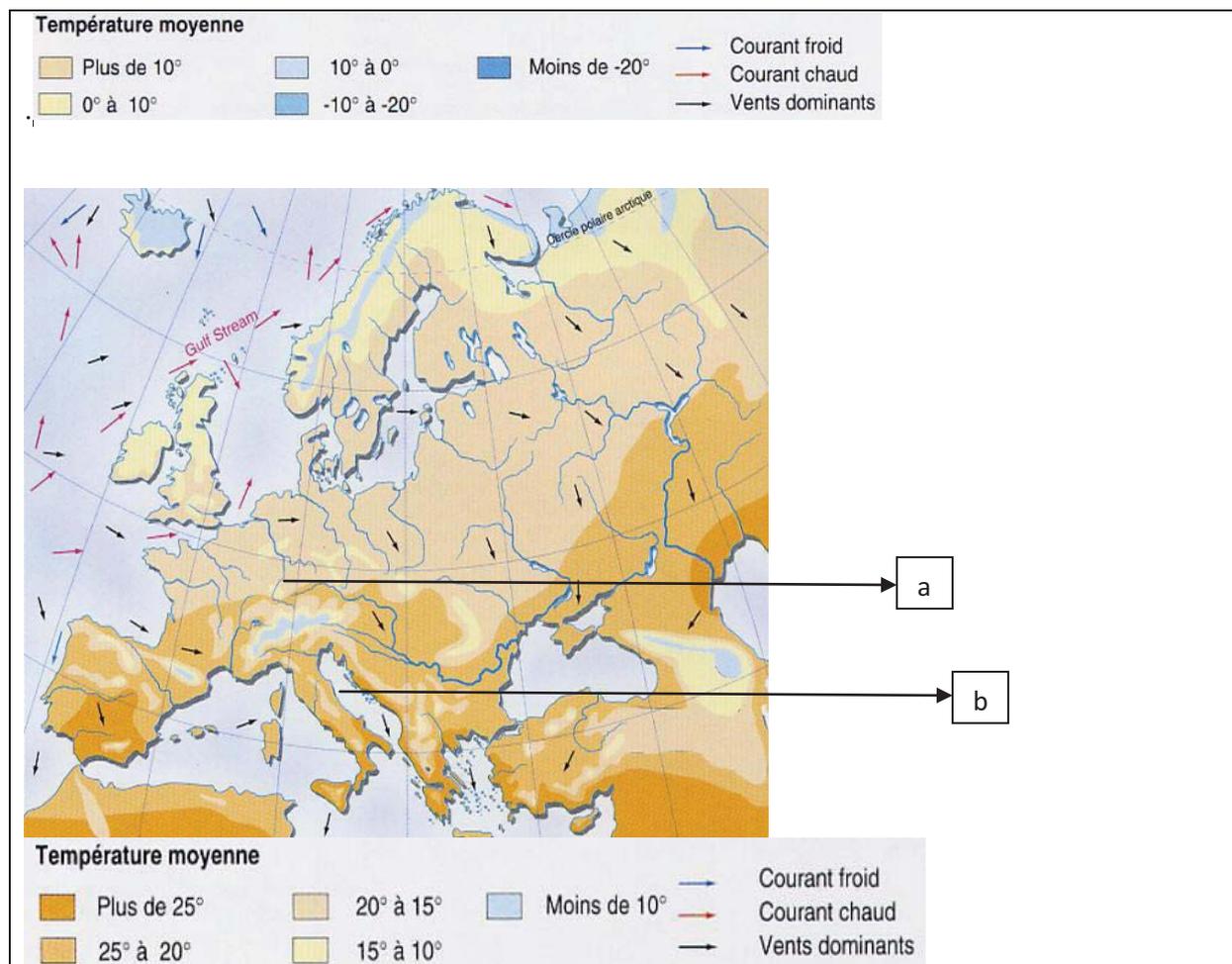
A. Climats et trajets.

Les climats européens présentent une grande diversité. La moyenne de température dans les états du Nord avoisine les -5°C , alors qu'au Sud, la moyenne des températures est de 18°C . En été, des pics de température sont observés dans les états au climat méditerranéen : jusqu'à 37°C dans le Sud de l'Italie ou de l'Espagne. Pour des climats plus continentaux, en Europe centrale et du Nord, les climats sont un peu moins chauds mais Scandinaves sont de l'ordre de -5 à -20°C .

Les températures hivernales et estivales peuvent être représentées sur une carte, la figure 16 montre la moyenne des températures pour un mois de janvier et un mois de juillet.

Figure 16 : Températures moyennes hivernales et estivales sur le continent Européen (www.alerte-meteo.com).





La plupart des transports effectués sur de longues distances traversent au moins deux types de climat différents. Ces transports présentent donc des risques pour le bien être des bovins. En effet, des variations climatiques importantes et de grande amplitude en peu de temps sont des situations pour lesquelles les bovins doivent fournir un effort d'adaptation accru. Lors d'un trajet depuis l'Allemagne (a) jusqu'en Toscane (b), les températures peuvent varier de -5°C à plus de 30°C (11).

L'humidité relative pour la même saison varie aussi entre ces deux points. Le tableau suivant nous donne quelques indications d'humidité relatives pour les grandes villes de destination des bovins transportés. Les climats chauds en été peuvent présenter des taux d'humidités élevés. Le tableau 12 donne quelques valeurs d'humidité relative pour les principales villes intervenant dans le commerce de bovins vivants.

Tableau 12 : Moyenne des humidités relatives exprimées en % aux lieux de plus forts niveaux de température en Union Européenne (d'après <http://www.weatherbase.com/>)

Capitales mesurées en température	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre
Thessaloniki*	57	54	45	42	45	51	63
Madrid*	48	44	38	30	31	38	51
Athens*	58	54	48	42	41	47	57
Granada	78	73	67	59	57	70	77
Seville	48	42	37	31	32	35	46

Aujourd'hui, le réchauffement climatique est une préoccupation importante dont il faut tenir compte dans les conditions de transport dans le futur. Des modélisations du climat en Europe prévoient une diminution des jours de froid et des gelées et une augmentation des jours au dessus de 25°C avec une fréquence accrue de vagues de chaleur.

Les transports sur de longues distances sont une menace au bien être thermique des bovins de part leur durée et l'amplitude des conditions thermiques rencontrées.

B. Véhicules, équipements et chargement

Les véhicules les plus utilisés en Europe pour des trajets de longues durées présentent les caractéristiques suivantes (sources photographiques personnelles : camion de Mr Da Silva, 12) :

- Deux niveaux de chargement pour les gros bovins et trois niveaux pour les veaux.
- Cloisons intérieures mobiles pour la séparation des lots.



- Matériaux inoxydables et faciles d'entretien.



- Ouvertures latérales modulables.



Des équipements spécifiques sont requis dans les bétailières circulant sur de longues distances par le règlement 1/2005 :

- Un système de ventilation et un système d'enregistrement de la température.



- Des abreuvoirs accessibles et des réserves d'eau dans le camion.



- Des réserves d'aliments si nécessaire

Les couts associés à ces équipements sont très important, une bétailière à deux compartiments aux normes actuelles coute environ 250 000 euros.

En moyenne, un camion à deux remorques de deux étages comme celui présenté ci-dessus peut contenir 162 à 216 veaux d'élevage, 68 à 92 broutards et 40 à 50 gros bovins (44).

L'aménagement du camion de transport longues distance est un facteur important pour assurer le bien être des bovins, que ce soit le bien être thermique mais aussi le bien être face aux autres facteurs de stress lors du voyage.

C. Types d'animaux:

Le transport sur de longues distances concerne tous les types d'animaux, voici quelques données chiffrées, (d'après 53):

Tableau 13: résumé des distances et temps de trajets les plus parcourus en Europe pour le transport commercial des bovins de différentes catégories.

Type de bovins	Nombre (2005)	Trajet	Distance (km)	Durée (h)
Veaux destinés à l'abattoir de 80 à 60 kg	13000	Espagne France	1200	15h
	11000	Allemagne Italie	1529	18h
Veaux fini 160 à 300kg	7000	France Italie	1400	18h
	23000	France Italie	1400	18h
Veaux broutards de plus de 300kg	7000	Allemagne Espagne	2360	>20h
	83000	France Italie	1437	18h
Bovins adultes destinés à	21000	France Italie		

l'abattoir				
	4000	Irlande Espagne	2259	>20h

En moyenne, les trajets les plus fréquents réalisés par un transporteur du centre de la France ont une durée de 15 à 16 h pour une distance de 1000km (source: *transport Armaing/Auterive*).

Nous avons vu que le microclimat dans un camion chargé voyageant sur un trajet type France/Italie dépend de nombreux paramètres : la conception du véhicule, la ventilation, le nombre de bovins, la densité, la température extérieure, le comportement du conducteur. Les trajets commerciaux intra communautaires actuels peuvent présenter des risques d'inconfort thermique pour les bovins. Le stress thermique potentiel a des conséquences sur le bien être mais aussi sur la qualité commerciale et sanitaire des bovins.

Il est alors important d'essayer de donner des règles et des recommandations pour assurer le bien être climatique lors du transport, ces règles doivent être cohérentes, applicables en pratique et efficaces. Nous allons voir dans une dernière partie comment le dernier Règlement Européen (37) permet d'assurer un certain bien être pour les animaux transportés. Nous verrons aussi en quoi se règlement peut être amélioré en apportant des pistes de réflexion pour l'établissement de recommandations pratiques concernant la maîtrise de l'ambiance dans un camion.

Partie 3 : PRESENTATION DU REGLEMENT UE 1/2005 ET PROPOSITIONS DE NOUVELLES NORMES D'AMBIANCE ET DE MOYENS DE MAITRISE.

Les professionnels du transport ont souligné des manques de précision dans la réglementation. La principale conséquence est une disparité dans l'équipement des bétailières ne desservant pas toujours le bien être animal. Il paraît alors important d'étudier en quoi les normes de confort climatique et de moyens de maîtrise de l'ambiance données dans le Règlement CE 1/2005 (37) peuvent paraître peu applicables en pratique. Dans cette dernière partie, nous pourrions ainsi proposer des adaptations pour une meilleure application du Règlement. Les pistes de réflexion présentées porteront sur plusieurs points importants :

- les normes de température pour les bovins ;
- les systèmes de ventilation et de contrôle ;
- les moyens d'intégrer le bien être dans une démarche d'assurance qualité ;
- un avant projet de bétailière.

I Bien être thermique lors du transport : réglementation actuelle et lacunes en matière de conditions d'ambiance.

A. La progression vers le règlement UE 1/2005.

L'Union Européenne s'est très tôt penchée sur le sujet de la protection des animaux en cours de transport. La première directive date de 1977, suivent les directives de 1991 et 1995. Les directives 91/628/EEC et 95/29/EC constituent la base de la législation communautaire sur la protection des animaux durant le transport. Du fait des lobby de protection animale et des évolutions du marché du transport, la commission européenne présente une nouvelle directive avec pour objectif, d'élaborer, d'améliorer et de garantir les normes relatives au bien être des animaux. Le 16 février 1998, la directive (EC) No 411/98 donne des objectifs en termes d'ambiance, de densité, de durée pour les trajets de plus de 8h.

En 2000, la Commission Européenne consulte les états membres. Ces derniers rendent un rapport sur l'expérience acquise depuis la mise en application des directives 95/29/CE et 98/411/CE (35).

Les principales constatations sur les transports longues durées font état de ventilation insuffisante n'assurant pas les intervalles de températures réglementaires.

« Pour résoudre les problèmes des conditions climatiques extrêmes dans lesquelles se trouvent les animaux pendant les longs transports (en particulier du Nord vers le Sud de

l'Europe), les camions doivent être équipés d'un dispositif de contrôle de la température et de l'humidité à l'intérieur du compartiment dans lequel les animaux sont transportés. La Commission présentera au Conseil une proposition à ce sujet. »

En 2003, la Commission Européenne présente une proposition, elle s'appuie sur le rapport de l'EFSA et traite plus précisément des systèmes de ventilation et de contrôle de température dans les camions de transport longue durée et des minimum et maximum de températures et d'humidité.

Le rapport de l'EFSA rédigé à la demande de la commission a été publié en 2004.
Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to Standards for the microclimate inside animal road transport vehicles 1 (Question N° EFSA-Q-2003-085)
Adopted on the 20th October 2004

Ce rapport doit étudier en particulier les minimums et maximums de température dans les véhicules, leurs possibles modifications en fonction de l'humidité et la ventilation nécessaire pour maintenir de telles conditions (36).

Le rapport conclut sur l'urgence de recherche sur les points suivants :

- Etudier les effets des conditions climatiques imposées lors du transport
- Donner des précisions sur l'équipement des véhicules et de la ventilation
- Proposer un indice de « niveau de chaleur » prenant en compte le poids, la densité des animaux.
- Mettre au point des systèmes de mesure de la température et de l'humidité efficaces.

Les propositions qui ont suivi le rapport ont été la base d'un nouveau règlement : 1/2005/CE (37).

Il est difficile pour les autorités européennes de proposer des règlements du fait des nombreux points de vue qu'il faut satisfaire. Une proposition de règlement doit considérer l'aspect économique du transport, les attentes des consommateurs, les avancées scientifiques dans le domaine ainsi que les particularités propres au transport sur « le terrain ».

Nous allons voir les points importants concernant les paramètres d'ambiance et leur maîtrise dans les camions de transport longue durée tels qu'ils sont écrits dans le règlement.

B. Les normes du règlement CE 1/2005 concernant la maîtrise des paramètres d'ambiance lors du transport longue durée.

De part sa nature, ce règlement est directement applicable dans tous les pays de l'Union Européenne, il permet ainsi une harmonisation des législations des états membres et la coordination des structures de contrôles par les autorités compétentes des états. Il est entré en application le 1^{er} janvier 2007.

1. Normes de températures.

La prise en compte du rapport EFSA et des anciennes recommandations de la directive de 1998 ont permis de préciser un peu plus les normes de températures dans les camions pour les long trajets :

« Les systèmes de ventilation dans les moyens de transport par route doivent être conçus, construits et entretenus de telle manière qu'à tout moment du voyage, que le moyen de transport soit à l'arrêt ou en mouvement, ils soient en mesure de maintenir la température dans une fourchette de 5° C à 30° C à l'intérieur du moyen de transport, pour tous les animaux, avec une tolérance de plus ou moins 5° C, en fonction de la température extérieure. »

Cet intervalle doit être maintenu grâce à un système de ventilation efficace. Des normes d'équipement des camions sont alors données.

2. Normes d'équipements

Les normes d'équipements spécifiques aux transports de longue durée ont pour objectif de garantir des conditions d'ambiance adaptées, d'assurer l'alimentation et l'abreuvement des animaux et de suivre les véhicules tout au long du trajet.

Pour les systèmes de ventilation et la maîtrise de l'ambiance :

« minimal d'une capacité nominale de 60 m³/h/KN de charge utile. Il doit pouvoir fonctionner pendant au moins quatre heures, indépendamment du moteur du véhicule »

En pratique, cela correspond à un flux d'air minimal de 60m³/h pour 100kg de poids vif d'animal présent dans le camion (44). Le système de ventilation doit donc permettre que toutes les heures un volume de 60m³ soit renouvelé dans le compartiment (extrait ou injecté) par chaque tranche de 100kg de poids vif.

Les autres dispositions concernant l'équipement du camion portent sur les matériaux utilisés :

« Le moyen de transport doit être équipé d'un toit de couleur claire et est isolé de manière adéquate. »

Pour le suivi des transports :

« Les moyens de transport par route doivent être équipés d'un système de contrôle de la température, ainsi que d'un dispositif d'enregistrement de ces données. Des capteurs doivent être placés dans les parties du camion qui, en fonction de ses caractéristiques, sont susceptibles d'être exposées aux pires conditions climatiques. Les données de température ainsi enregistrées sont datées et mises à la disposition de l'autorité compétente, à sa demande. »

« Les moyens de transport par route doivent être équipés d'un système d'alerte destiné à avertir le conducteur lorsque la température dans les compartiments où se trouvent des animaux atteint la limite maximale ou minimale. »

Il est aussi question de mettre en place un système de navigation par satellite capable d'enregistrer et de transmettre à tout moment le positionnement du véhicule, les conditions dans lesquelles il circule. Ces informations devront être transmises aux services de contrôle de la DDSV.

Le règlement CE 1/2005 est en application depuis le 1^{er} janvier 2007. L'aménagement des bétailières et la mise en place des systèmes de contrôle d'ambiance ont soulevés des problèmes pratiques chez les professionnels du transport. Des études sur le terrain ont aussi donné des résultats soulignant la difficulté de respecter certains points de la réglementation.

C. Les problèmes soulevés par le règlement de 2005, point de vue des professionnels.

1. Les maximum et minimum de température : des limites discutées

Les spécifications accompagnant les limites de température amènent à réflexion.

Tout d'abord, ce sont des limites de température uniquement et nous avons vu à quel point l'humidité et la vitesse de l'air autour des bovins était importante dans la définition du bien être climatique. Ne pas tenir compte de ces autres paramètres peut alors mener à des situations trop contraignantes dans certains cas ou à des situations de mal être malgré le respect des limites fixées. On peut par exemple avoir une température de 33°C réglementairement acceptable mais une humidité telle que les conditions de bien être sont menacées.

Ensuite, ces limites sont données pour tous les animaux de production transportés sur de longues distances. Or il est certain que des différences existent entre les processus de thermorégulation entre les espèces (différences de thermogénèse basale, différence de processus évaporatifs...). Chaque espèce présentera donc une sensibilité différente aux valeurs de températures qui lui seront imposées lors d'un transport. De même, au sein de chaque espèce des réactions différentes face aux conditions climatiques existent en fonction de l'âge et de l'état physiologique.

Enfin, ces limites sont données avec une marge de +/- 5°C selon les conditions extérieures mais il n'est pas précisé dans quelles conditions un écart de 5°C est accepté. Il est juste ajouté en annexe que la tolérance de 5°C est acceptée pour une durée maximum de 30mi par période de 8h. Un rapport du sommet de l'élevage de 2007 à Clermont Ferrand fait remarquer une discrimination entre pays froids et pays chauds. Les pays froids ne sont pas concernés par les limites basses puisque le réchauffement par les animaux permet de respecter la limite inférieure. La limite supérieure reviendrait selon R.Laporte à interdire le transport vers les pays du Sud en été. En effet, le tableau 14 nous montre que les températures extérieures dans les grandes villes de destination des bovins dans le Sud sont supérieures à 30°C lors des mois d'été.

Tableau 14 : Température moyennes dans les villes destination privilégiée des transports de bovins vivants (d'après <http://www.weatherbase.com/>).

Villes principales de destinations des transports de longue durée	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre
Thessaloniki	18	23	28	31	30	26	21
Madrid	17	21	27	32	32	27	20
Athens	18	23	28	31	31	28	22
Granada	17	22	27	32	32	27	22
Seville	21	26	30	35	35	32	25

Les températures dépassant la norme réglementaire de 30°C pour le transport sont surlignées.

De même, une étude en conditions commerciales (21) a montré que :

- 48% des trajets présentaient des relevés de température qui dépassaient au moins une fois les 30°C.
- 13% dépassaient au moins une fois les 35°C ;
- 6% des trajets avaient des enregistrements de température qui présentaient au moins une valeur en dessous de 0°C.

Dans les mois d'hiver, les occurrences de valeurs de température en dessous de 0°C étaient plus importantes. Pour les mois d'été, les occurrences de températures au dessus de 35°C étaient plus fortes.

Il est cependant important de noter que le dépassement de la limite supérieure de 35°C ne représentait, en termes de temps, que 1% du temps de transport. Même si aucune donnée sur la durée du stress thermique en relation avec le bien être n'est disponible, on peut penser que les dépassements ne sont pas des menaces importantes au bien être.

En ce qui concerne les bovins, on peut s'interroger sur la justification de telles limites de température. En effet, la limite inférieure de 0°C (-5°C selon les conditions extérieures) ne semble pas justifiée, aucune publication ne nous donne d'informations sur le bien être lors du transport à des températures au dessous de 0°C. Les bovins et notamment les taurillons et broutards seraient à même de supporter des températures négatives. La limite supérieure quand à elle paraît valable si l'on considère que le bien être est défini dans la réglementation comme l'état « sans effort d'adaptation », si on admet un effort d'adaptation facile, la norme supérieure pourrait être élevée à 35°C (cf I).

L'analyse des conditions de transport de longue durée en Europe nous montre qu'il existe des situations à risque pour le bien être thermique des bovins tel qu'il est défini dans la réglementation.

2. Les obligations de moyens sur l'équipement des camions : des difficultés de mise en pratique.

Les normes de ventilation et de contrôle de la température et de l'humidité sont difficiles à mettre en œuvre selon les professionnels de la filière.

- Les dispositifs de contrôle de la température : aucune précision n'est donnée sur de nombreux points importants. Il y a peu de données pour le placement des sondes dans le camion, nous avons vu que la position des sondes était importante du fait des gradients de température dans le camion en mouvement. Le type de sonde, sa sensibilité, le nombre et la position des sondes sont laissés au choix des professionnelles et des fabricant de bétailières. L'étalonnage des sondes et leur mise à jour ne sont pas toujours effectuées correctement. Cela a pour conséquences une différence d'équipements entre les pays et au sein d'un même pays. La température donnée par au conducteur ne reflète donc pas correctement les conditions qui règnent dans le camion. Le règlement est de fait souvent mal appliqué (38).
- L'enregistrement des valeurs et le système d'alerte : il est difficile de savoir quelles données sont pertinentes. La température est importante mais pas le seul indicateur de confort thermique. Cependant les paramètres tels que l'humidité et la vitesse du courant d'air dans le camion sont difficiles à mesurer du fait de la fragilité des sondes. Il semblerait que les transporteurs soient plus intéressés (38) de savoir comment réagir lorsque des dépassements sont observés (en terme de réglage de la ventilation). La durée du dépassement est aussi un point sur lequel les professionnels attendent plus de précision. Des dépassements sont autorisés s'ils sont de courte durée, mais ces durées ne sont pas données. Le système d'alerte devrait être mis au point à partir de données sur des durées d'expositions à des températures « extrêmes » permettant une récupération en suivant. De même, l'enregistrement en continu et la conservation des données paraît peu justifié aux yeux des professionnels.
- Le système de ventilation : l'absence de données sur le type de système permettant une ventilation efficace est aussi un problème. Le règlement préconise une norme de débit de ventilation mais le problème est la mesure de ce débit : ou le mesurer ? Comment savoir si il permet réellement d'améliorer le bien être ? En effet, nous avons vu que certains systèmes de ventilation s'avéraient inefficace dans un véhicule chargé en mouvement. Les camions sont aujourd'hui le plus souvent équipés de ventilateurs latéraux dont nous avons montré la faible efficacité mais cela reste dans le cadre de la réglementation. Les systèmes de ventilation, même s'ils existent

généralement sur les véhicules, ne sont pas toujours utilisés et quand ils le sont, ils ne sont pas toujours utilisés de façon efficace

- Le système de navigation embarqué : les dispositifs actuels ne semblent pas être au point, les professionnels demandent donc de reporter cette obligation qu'ils ressentent comme « une surveillance administrative des activités de commerce et de transport » (38).

Les professionnels souhaiteraient donc disposer de conseils pratiques pour s'adapter au mieux aux décisions réglementaires, surtout en ce qui concerne les systèmes de ventilation des véhicules et l'abreuvement des animaux au cours de la pause (pendant des transports de plus de 8 heures) et pendant leurs arrêts.

3. Contrôles

Aujourd'hui, les contrôles des véhicules de transport long duré s'effectue grâce à une feuille de route. Les conducteurs doivent aussi être en possession d'un certificat d'aptitude professionnelle au transport des animaux vivants (CAPTAV), la formation porte sur les pratiques de transport, les besoins des animaux et leur comportement, les soins d'urgence et la manipulation ainsi que sur les conséquences de la conduite sur la qualité des viandes.

Les contrôles sont organisés par la DSV, les vérifications concernant les systèmes de maîtrise de paramètres d'ambiance portent sur :

- la présence des ventilateurs sans conditions de position ou de type de fonctionnement
- La présence de sondes de températures
- La disponibilité des données relatives à la température
- La présence du système GPS et des données enregistrées.

D. Propositions pour l'amélioration du règlement 1/2005, quelles pistes de réflexion ?

Il apparait que maintenir les l'intervalle actuel de 0 à 35°C quelle que soit l'espèce pour les longs trajets n'est pas une solution économiquement et scientifiquement acceptable.

Une déclinaison d'intervalles de températures en fonction des espèces, de l'âge des animaux et des conditions extérieures devrait être mise au point (35). La tolérance et la durée de la tolérance d'écart par rapport à la norme devrait être revue.

Il apparait aussi que les dispositifs de maîtrise de l'ambiance (enregistrement des températures et ventilation) soient difficiles à mettre en place du fait du manque de précisions sur leur utilisation (conduite à tenir en cas de dépassement, utilisation de la ventilation active). Les professionnels du transport sont conscient que « [leurs] principaux partenaires ou concurrents ont des législations beaucoup moins contraignantes, reposant plus sur des codes et guides de bonnes pratiques et beaucoup plus pragmatiques ». On pourrait donc imaginer une plus grande souplesse face aux obligations réglementaires et un travail commun entre la Commission et la filière du commerce d'animaux vivant portant sur

des codes de bonnes pratiques pour la ventilation tel surveillance de la température. Cela permettra de mieux cibler les situations à risque et de donner les moyens de les gérer.

Face aux demandes des transporteurs et grâce aux quelques données scientifiques récentes recueillies, des propositions pratiques pour la maîtrise de l'ambiance peuvent être faites pour le bien être lors du transport des bovins sur de longues durées. Nous allons proposer des pistes de réflexion sur plusieurs points importants : les normes de température pour les bovins, les systèmes de ventilation et de contrôle, les moyens d'intégrer le bien être dans une démarche d'assurance qualité. Nous proposerons aussi une ébauche de modèle de bétailière.

II Donner des normes de température et d'humidité spécifiques aux bovins et variables.

Il paraît tout d'abord important de modifier quelque peu les plages de la température réglementaire censés assurer le bien être des toutes les espèces animales transportées quelle que soit leur âge et les conditions de transport.

A. Prendre en compte les spécificités de thermorégulation des bovins

1. Par rapport à l'humidité et aux mouvements d'air

La thermorégulation chez les bovins est très sensible à l'humidité (cf. I, sudation principal moyen de perte de chaleur). Prendre en compte l'humidité est donc un élément important dans l'établissement d'une plage de température assurant le bien être climatique des bovins.

Le tableau ci-dessous donne la combinaison température/humidité acceptable pour un stress thermique de chaleur moyen (36).

Tableau 15 : Nota : le tableau ne tient pas compte de la vitesse de l'air au contact des animaux.

Températures °C.	Humidité % RH.
+35	25
+ 30	58
+ 28	80
+ 27	100

La vitesse de l'air au contact des bovins peut être aussi un facteur aggravant (en hiver) ou un facteur d'amélioration (en été) du confort climatique. Comme nous l'avons vu, la baisse subjective de la température peut aller jusqu'à + 1.8°C pour une vitesse d'air de 1m/s. Les recommandations précédentes peuvent être modulées en fonction du mouvement d'air dans le camion (36):

Tableau 16 : Niveau de bien être des bovins en fonction des combinaisons de température, humidité et vitesse du vent

Vitesse du vent	Bien être des bovins	Températures °C.	Humidité % RH.
0.5 m/s	Bon	26	90
		32	20
	limite	28	90
		36	20
	début de danger	30	90
		42	20
6 m/s	Bon	28	90
		41	20
	limite	30	90
		42	20
	début de danger	34	90
		43	20

De façon générale, avec une ventilation mécanique fonctionnant à plein régime, les vitesses d'air sont inférieures à 1m/s (10).

En hiver, peu de données sont disponibles sur les limites basses de températures au dessous desquelles l'effort d'adaptation des bovins est difficile. Le facteur éolien rentre peu en jeu et l'humidité ne modifie que peu les échanges en conditions froides.

2. Par rapport à la résistance des bovins aux températures extrêmes.

Les normes réglementaires mériteraient aussi mieux adaptées à la particularité d'adaptation des bovins aux conditions extrêmes.

- Bovins et résistance au froid : Les limites basses de températures sont plus difficiles à donner chez les bovins car ils présentent une résistance importante au froid. En effet, leur métabolisme ruminal produit énormément de chaleur (50 kJ/24h). L'obligation de ne pas les transporter à des températures inférieures à zéro paraît alors peu justifiée. *Nota* : D'autres espèces de ruminants sont plus sensibles au froid et justifient cette obligation. Ce point important est à prendre en compte pour les jeunes non ruminants pour lesquels la production de chaleur ruminale est moindre et qui sont donc plus sensibles au froid.

- *Bovins et résistance au chaud*: Les bovins présentent des processus de thermorégulation efficaces. Les pertes de chaleur par sudation et polypnée thermique sont importantes par rapport à d'autres espèces (tableau 5).

Chez les porcs, les processus de sudation (tableau 4) et polypnée thermique sont très peu présents. Les porcs sont donc moins bien tolérants aux températures élevées.

On pourrait donc ajuster les plages de températures réglementaires pour le transport des bovins en fonction de leur capacité de thermorégulation dans différentes situations. Ces capacités diffèrent selon le type de bovins.

B. Prendre en compte le type de bovin transporté

1. Taurillons de plus de 6 mois.

Ces types de bovin présentent une plus grande sensibilité à la chaleur. En effet, ils possèdent un métabolisme de base plus élevé. De plus, ils présentent souvent une couche de gras sous cutané importante. Cette couche de gras superficielle a une conductivité thermique moins grande que celle de l'eau et une vascularisation moins importante. Les scientifiques affirment ainsi que les animaux gras sont plus sensibles au stress thermiques du à des températures élevées (d'après 67, p173). Inversement, leurs réserves énergétiques et le gras sous cutané leur confère une plus grande résistance au froid.

Le tableau 1 (partie 1) nous donne une idée des LCT et UCT pour des bovins semi finis ou finis. Des températures de -25°C sont données pour les LCT, (la LCT est la température à partir de laquelle le bovin fournit un effort d'adaptation). Si on considère acceptable pour le bien être un effort d'adaptation facile, l'amplitude thermique varie entre -15°C et 35°C (II). Pour ce qui est des températures élevées, il semble qu'aucun comportement de mal être n'est observé lors de transports de brouillards aux heures les plus chaudes de la journée, c'est-à-dire à des températures extérieures avoisinant les 40°C (23).

On pourrait conclure pour les taurillons de plus de 6 mois que peuvent être admises :

- Des températures en dessous de zéro ;
- Des températures de +30 + 35° C selon le taux d'humidité

2. Veaux de plus de 2 semaines.

La sensibilité au froid de ces types de bovins nécessite une limite basse plus chaude. L'obligation de ne pas descendre en dessous de 0°C pour ce type d'animaux est justifiée.

De plus, une litière adaptée serait nécessaire et une plus grande surveillance requise. Dans les codes de bonnes pratiques Canadiens (40), il est conseillé d'augmenter l'épaisseur de litière et de nourrir les veaux dans les 5heures avant le voyage afin de leur permettre de faire des réserves telles qu'ils puissent lutter contre le froid.

Des températures de +30°C à +35°C semblent aussi être correctes pour ce type d'animaux.

3. Vaches laitières destinées à l'abattoir.

Les températures élevées sont assez bien supportées par ces types de bovins, la limite de +30°C peut être élevée à +35°C. De même, la température limite basse peut être abaissée à -5°C sans conséquences sur le bien être. Il faut cependant moduler ces chiffres selon la durée du transport. Les longs trajets, ne devraient pas se faire sur tout le parcours à des températures proches des limites hautes et basses. *Nota :*

- L'effort d'adaptation sur la durée et les conséquences sur le bien être sont peu connus.
- Une attention particulière est à apporter aux vaches en gestation, elles sont plus sensibles aux températures élevées (d'après 67, p174).

C. Prendre en compte les conditions climatiques et la durée du transport

Les conditions météorologiques lors du transport influent sur les conditions climatiques dans le camion (II). De façon générale, la température dans le camion est plus élevée que celle à l'extérieur et l'humidité sensiblement égale.

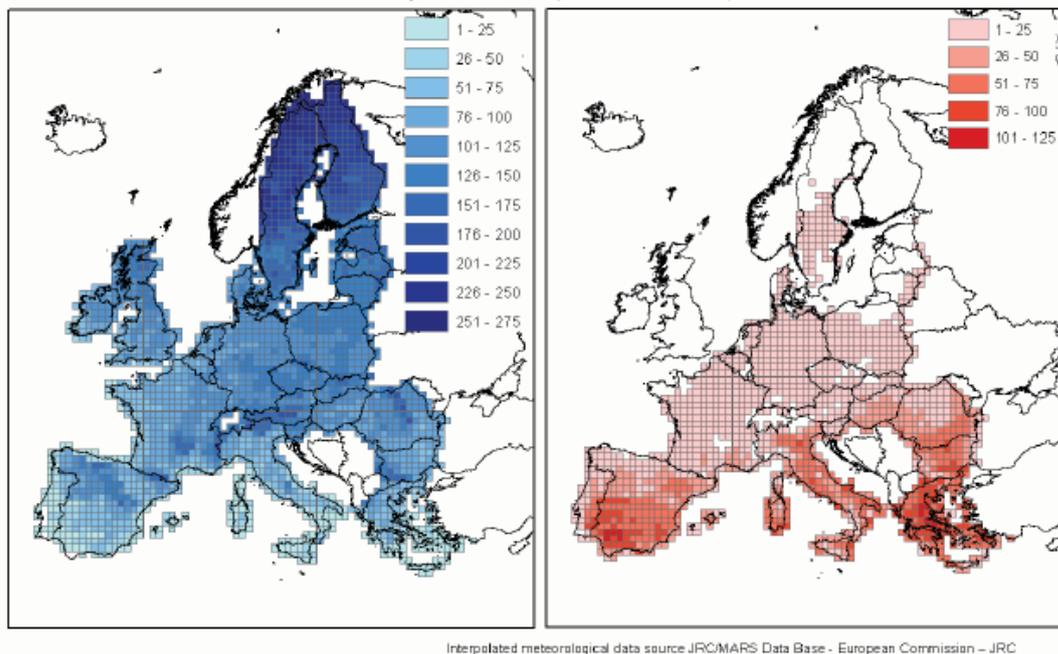
Peuvent être considérées comme des situations :

- De « transport à risque de stress thermique du à la chaleur », des températures extérieures proches de + 30°C et une humidité élevée.
- De « transport à risque de stress thermique du au froid », des températures extérieures en dessous de - 5°C

Ces situations à risque existent en Europe (figure 17) entraînant des dépassements des limites basses et hautes réglementaires (21, 23). Cependant, aucune donnée scientifique ne justifie la limitation de 30 min de durée du dépassement.

L'affichage en cabine des paramètres déterminants les situations à risque, avec des alertes en fonction du temps d'exposition, permettra d'avertir les conducteurs pour qu'ils soient plus attentifs au bien être lors de ces transports à risque.

Figure 17 : Nombre de jours présentant des températures en dessous de 5°C et au dessus de 30°C sur la période de janvier 2008 à novembre 2008 (d'après 21).



Des plages de températures spécifiques aux bovins pourraient être donnés aux transporteurs. Il serait possible d'établir des situations types pour lesquelles le transport devrait être plus surveillé.

On pourrait donner pour les bovins adultes :

- Situation à risque de dépassement de limite haute : température extérieure supérieure à + 35°C avec un temps de dépassement de 2h00 consécutives. Dans ce cas là, la température dans le camion ne doit pas excéder 35°C sans limitation de durée puisque la situation à risque est elle même limitée dans le temps.
- Situation à risque de dépassement de limite basse : température extérieure inférieure à -5°C.

Des recommandations de conduite à tenir dans ces situations sont bien sur nécessaires.

Cela confirme l'utilité de l'affichage en cabine des différents paramètres décrits ci-dessus, c'est-à-dire d'être relié à un système satellite. Cela pourrait être pris en compte dans l'obligation de suivi par GPS.

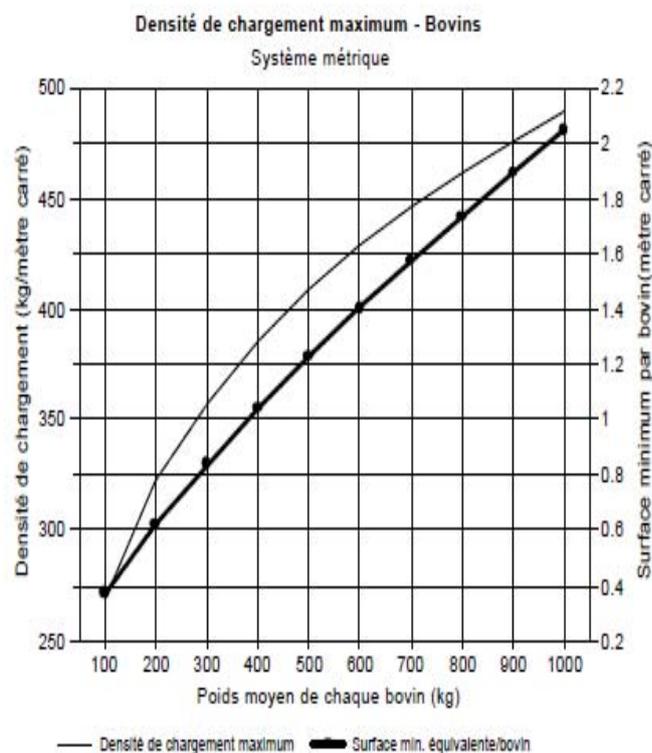
D. Prendre en compte et ajuster la densité.

La production de chaleur par les animaux influe fortement sur les conditions climatiques dans le camion (II). Il serait ainsi imaginable de moduler la densité de chargement selon le risque d'atteindre des conditions climatiques nuisibles au bien être. Cela pourrait être une donnée à afficher en cabine avec les données météorologiques.

Diminuer les densités lors de transport estivale vers des régions chaudes et humides pourrait être une solution pour garantir les échanges commerciaux sans compromettre le bien être. Cela induit bien entendu une augmentation du coût de transport.

Des guides de bonnes pratiques canadiens proposent (40) de diminuer les densités lors de transport en été et d'augmenter ces dernières en hiver. La figure 18 montre les normes de densité et leur possible augmentation de 10% sans conséquences sur le bien être lors de transports hivernaux.

Figure 18 : Surface minimum à allouer pour les bovins durant le transport selon le poids moyen.



En fonction du poids moyen les courbes donnent la densité de chargement (Kg/m²) et la surface min par bovin (m²). La supérieure indique les maximums ; l'inférieure indique les minimums.

Par temps froid, les bovins de niveau de finition élevé peuvent être transportés sans danger selon un taux de 10% supérieur à cette norme. Les bovins laitiers ne devraient pas être chargés selon un taux supérieur à 85% de la présente norme.

E. Difficultés de combiner ces données et propositions de normes pour les bovins.

Il apparaît difficile de donner des plages de température à respecter pour le transport de longue durée des bovins. En effet, pour être juste scientifiquement et assurer au mieux le bien être climatique des animaux transporté, de nombreux paramètres doivent être pris en compte et peuvent modifier ces palges. De plus, une réglementation qui tiendrait compte de tous les facteurs cités précédemment est compliquée à faire appliquer.

Les rapports de l'EFSA aux vues des avancées scientifiques dans le domaine du bien être climatique des animaux de production donnent des recommandations sur lesquelles la Commission Européenne peut s'appuyer pour modifier le règlement 1/2005. Ces recommandations prennent en compte l'humidité pour la limite haute de température. La limite basse pour les bovins semble assez élevée par rapport à ce que nous avons vu dans l'exposé.

Tableau 15 : Maximum et minimum de températures proposés comme limites dans les véhicules de transport, en prenant en compte l'humidité.

Species	Type/ weight /age	Minimum. Temperature* (°C)	Maximum temperature adjusted for humidity (°C)	
			RH <80 %	RH >80 %
Pigs	<10 kg	20	30	29
	10 - 30 kg	14	32	29
	>30 kg	10	25 (30)*	25 (30)*
Cattle	0 - 2 weeks	10	30	27
	2-26 weeks	5	30	27
	>26 weeks	0	30	27
Sheep	Full fleece	0	28	25
	Shorn	10	32	29
Goats		6	30	27

*with mechanical ventilation and misting devices

Pourrait être revu à la baisse comme nous l'avons vu précédemment pour les taurillons et les adultes.

0°C et -5°C pourraient remplacer ces valeurs.

Pourrait être revu à la hausse comme nous l'avons vu précédemment.

30°C à 35°C sont acceptables pour le transport des bovins.

Les plages réglementaires de température peuvent donc être élargis afin d'être plus proches de la réalité du transport sans compromettre le bien être des bovins. Il est ensuite question de proposer des moyens afin de maintenir la température dans ces valeurs et de contrôler si les moyens de maîtrise sont efficaces.

III Moyens de maîtrise de l'ambiance et évaluation de leur efficacité : recommandations pratiques.

La ventilation est le moyen habituellement utilisé en situation réelle pour maintenir des conditions climatiques de transport respectant la réglementation. Il est cependant difficile

pour les fabricants de bétailière de mettre au point des systèmes assurant une ventilation optimale par rapport à ces normes de température. De même, les transporteurs doivent être capables d'ajuster les systèmes de ventilation afin de garantir des conditions climatiques correctes. Cela demande une bonne connaissance du système et de tous les paramètres qui entrent en jeu.

Il apparaît donc important de donner des indications pratiques et réalisables en conditions commerciales en tenant compte des contraintes du transport.

A. Le système de ventilation idéal pour parvenir aux plages fixées

Le succès de la ventilation active repose sur plusieurs points :

- La connaissance des plages de température à respecter.
- La position des entrées et sorties d'air par rapport aux ventilateurs.
- La modulation du débit des ventilateurs selon différentes données, en utilisant les équations de dissipation de chaleur par la ventilation (e 4).
- La possibilité de mesurer la température et l'humidité pour ajuster la ventilation.
- La possibilité d'observer les animaux pour ajuster la ventilation.
- L'autonomie et l'efficacité du système lors de l'arrêt du camion.
- La possibilité de gérer toutes les données climatiques et les autres données concernant ou non le bien être grâce à un système intégrant de nombreuses données pour indiquer au conducteur des actions à faire : réduire un débit de ventilateur, ouvrir ou fermer des volets d'aération...

Un système efficace et un fonctionnement optimisé par rapport aux conditions extérieures garantis des coûts de fonctionnement minimum. Il semble judicieux de retenir un modèle de ventilation active efficace en conditions commerciales. Ainsi, les fabricants de bétailières peuvent avoir un modèle pour la conception de véhicules. Ce modèle permet d'assurer le bien être en gardant des coûts de fonctionnement corrects et des contraintes minimales pour le chauffeur.

B. Entrées et sorties d'air et ventilateurs :

Lorsque les conditions extérieures sont dans la zone de thermo neutralité pour les animaux, la ventilation active ne devrait pas être nécessaire pour un véhicule en mouvement. Il faut cependant une ventilation passive efficace.

Pour favoriser l'écoulement naturel de l'air dans le camion, la conception du camion devrait être basée sur 2 ouvertures à l'avant du camion, 4 de chaque côté du camion, 2 à l'arrière du compartiment (24).

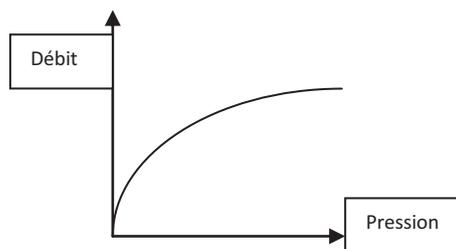
Ces données valent pour une bétailière de taille standard (9.6m de long, 2.5 m de large, 2.4m de haut), pouvant transporter 16 bovins dans 4 compartiments différents.

Les ouvertures doivent être modulables.

Ce système de ventilation paraît efficace en termes de flux d'air et de répartition, reste à déterminer la puissance des ventilateurs pour assurer un flux d'air de 60m³/h/100kg comme le demande la réglementation.

Lors de longs trajets, la ventilation active est obligatoire pour faire face à l'accumulation de chaleur due à la durée du transport et aux conditions climatiques parfois extrêmes. La conception des ouvertures et la disposition des ventilateurs est très importante (cf. II).

La courbe de fonctionnement (débit/pression) d'un ventilateur permet de comprendre l'importance du choix des ventilateurs et de leur position dans le camion par rapport aux champs de pression.



La pression est celle mesurée à la sortie d'air du ventilateur, plus la pression augmente plus le débit doit être important. La résistance à la sortie de l'air du ventilateur doit donc être la moins élevée possible pour garder des débits assez bas. L'extraction d'air par des ventilateurs à l'avant qui rejettent l'air dans la zone de dépression est donc une bonne solution.

Ainsi, un système simple associant ventilateurs et ouvertures latérales est capable d'assurer une aération correcte s'il est bien utilisé.

Afin d'ajuster l'ouverture des volets latéraux et la régulation du fonctionnement des ventilateurs, un système de mesure et de transmission des données climatiques dans le camion est nécessaire. Un système de traitement des informations est aussi à envisager.

Aucun contrôle de la ventilation en elle-même n'est à prévoir, ce sont les données de température et les variations de température dans le camion lorsqu'on ajustera la ventilation qui seront les indicateurs d'un bon fonctionnement de la ventilation.

C. Ajustement de la ventilation selon les conditions extérieures et intérieures : Connexion à un système de relevés de température et humidité.

Ajuster la ventilation pour assurer une température et une humidité compatibles avec le bien-être et la réglementation implique la présence d'un système de mesure et de transmission de ces données à un système de régulation automatique.

Les bétailières actuelles possèdent un système de cadencement de la marche des ventilateurs, ils se mettent en route à intervalle réguliers. Il est toutefois possible pour les conducteurs d'agir sur la ventilation en sélectionnant des durées ou des étages de ventilation (informations constructeur Pezzaioli, dépliant technique sur www.pezzaioli.it).

1. Les sondes de température : une obligation réglementaire, une mise en œuvre difficile.

« Les moyens de transport par route doivent être équipés d'un système de contrôle de la température, ainsi que d'un dispositif d'enregistrement de ces données. Des capteurs doivent être placés dans les parties du camion qui, en fonction de ses caractéristiques, sont susceptibles d'être exposés aux pires conditions climatiques. Les données de température ainsi enregistrées sont datées et mises à la disposition de l'autorité compétente, à sa demande. » (II)

Les sondes de températures en service aujourd'hui sont assez performantes mais souvent mal placées dans le camion et les données qu'elles indiquent mal exploitées. Il est donc important de donner des directives quant à la localisation des ces sondes de températures. De nombreux camions sont équipés de sondes couplées au ventilateur, ce qui fausse considérablement le relevé de température. Actuellement, les indications données par les sondes sont disponibles mais ne servent pas à réguler la ventilation. Il est donc important de donner des directives quant à la localisation des ces sondes de températures afin que les données soient exploitées totalement.



Sonde de température placée à côté d'un ventilateur latéral.

La localisation des sondes est encore sujet à discussion aujourd'hui. Les inégalités de température dans le camion que nous avons mis en évidence peuvent constituer un biais dans la mesure de température par les sondes. Le rôle des sondes est de rendre compte de la température au niveau des animaux mais elles sont fragiles et ne peuvent pas être placées à une hauteur à laquelle les bovins peuvent les atteindre.

Les recommandations à faire pour l'équipement du camion avec un système de relevé de température à l'intérieur des compartiments fonctionnel sont les suivantes (21, 10, 19):

- Les sondes ne doivent pas être placées à proximité des courants d'air des ventilateurs. Elles doivent être protégées par des carters métalliques. Elles doivent

être placées à environ 1m à 1,5m du sol du compartiment, par exemple sur les parois mobiles ou au dessus des abreuvoirs.

- Elles doivent être au minimum au nombre de 4 selon le type de véhicule et réparties de la sorte : 1 à l'avant, 2 sur les parois latérales et 1 à l'arrière. Cela permet d'avoir une couverture des variations de températures longitudinalement.
- La mesure de température doit se faire en continuité, avec un cadencement minimum d'une mesure toutes les 2 à 3 minutes. Ces mesures ne s'affichent pas forcément mais sont disponibles.
- Leurs caractéristiques générales sont les suivantes en pratique :

Intervalle de température mesurable: -40°C à +70°C

Sensibilité de la mesure: ±0.2°C (entre 0 – 40 °C)

Variation de la précision dans le temps acceptable: <0.1°C par an.<0.1°C par an

Une sonde sera judicieusement placée en dehors des compartiments pour prendre les données climatiques extérieures importantes pour l'ajustement de la ventilation. Ces sondes sont aussi difficiles à placer car elles la vitesse du camion, la chaleur du goudron ou celle des rayonnements solaires peut fausser les données. Le plus souvent, il est judicieux de placer ces sondes sous le camion. Cependant, un système de liaison GPS pourrait être capable de fournir ces données en temps réel selon les centres météo alentours.

2. Les autres types de relevés possibles

Les transports expérimentaux se servent de relevés d'humidité pour ajuster la ventilation. Ils sont ainsi à même d'ajuster la ventilation en fonction du THI mesuré dans le camion et comparé au THI idéal pour le confort des animaux. Cependant les sondes d'humidité sont coûteuses, fragiles et très sensibles aux chocs et autres aléas dus au transport. L'hygrométrie dans le camion n'est donc pas facilement mesurable en pratique, seuls les relevés de température sont disponibles pour ajuster la ventilation. Le THI n'est donc pas utilisable en pratique.

Il pourrait aussi paraître important de mesurer la ventilation dans le compartiment afin de s'assurer que la ventilation correspond bien à l'obligation réglementaire. Cela est réalisable grâce à des anémomètres. Ils doivent être placés un peu au dessus du niveau des bovins afin de mesurer le mouvement d'air ressenti réellement par les animaux.

3. Les systèmes de transmission au conducteur et les prises de décisions sur la ventilation en conséquence

« Les moyens de transport par route doivent être équipés d'un système d'alerte destiné à avertir le conducteur lorsque la température dans les compartiments où se trouvent des animaux atteint la limite maximale ou minimale. » (II)

La transmission au conducteur doit pouvoir se faire en temps réel. Ainsi, lorsque les conditions extérieures sont « à risque », le suivi des conditions dans le compartiment permet un ajustement rapide et efficace de la ventilation.

On peut ainsi prévoir un système d'alerte au conducteur lorsque les conditions se détériorent. Le problème réside alors à donner un seuil d'alerte et des recommandations pour les réactions à avoir.

Le seuil d'alerte est mis en place à partir des données des capteurs, plusieurs questions se posent :

- Quelles données servent à donner l'alerte : la moyenne des températures relevées sur les 4 capteurs ? au moins une des températures des 4 capteurs qui dépasse une certaine limite ? Toutes les températures ?
- Au bout de combien de valeurs consécutives au dessus de la limite l'alerte est elle donnée : deux valeurs consécutives en dehors de la limite donnent l'alerte ? dès qu'une valeur est au dessus de la limite, l'alerte est donnée ?
Cela revient à la question déjà soulevée de la durée d'un stress thermique par rapport à la réponse des bovins et à leur récupération.
- Quelle sonde donne le seuil d'alerte : celles dans le camion ou d'abord celles à l'extérieur ?
Cela revient à la proposition de définition de situations à risque par rapport aux conditions extérieures. Le conducteur doit-il réagir en termes de ventilation par rapport à une situation à risque à l'extérieur du camion ou doit il réagir lorsque les données de conditions climatiques dans le camion ont dépassées un seuil fixé ?

Répondre à toutes ces questions est difficile. Cependant, à la vue des connaissances acquises au cours de l'exposé on peut proposer :

- Si au moins une des températures dépasse un certain seuil, c'est que les conditions pour un groupe de bovin vont devenir menaçantes pour le bien être et il faut donc réagir. On a dit que les mesures se faisaient toutes les 2 – 3 minutes. On peut penser que le bovin peut rester au environ d'une ½ heure voir 1 heure sans se trouver dans un état de bien être maximal.
De toutes les façons s'il y a un problème technique grave le camion ne peut pas rester en bord de route, donc il faut qu'il puisse trouver un endroit pour se dépanner. La consigne pourrait être la suivante : Après 3 alertes consécutives (9 min) le chauffeur doit ajuster la ventilation.
- Les bovins ont une bonne capacité d'adaptation aux variations de température et la récupération suite à un stress thermique de durée moyenne semble bonne. Une mesure en dehors des recommandations peut donc ne pas être prise en compte. L'accumulation de mesures au delà d'un certain seuil peut constituer une alarme.
- La prise en compte des situations à risque grâce aux capteurs extérieur semble plus correspondre à une démarche actuelle de gestion des risques. S'appuyer sur des données météorologiques fiables pour réagir en termes de ventilation parait plus adapté pour modifier légèrement la ventilation et éviter des températures trop élevées dedans le camion.

Différents types d'alertes au conducteur sont donc envisageables pendant un transport longue distance. Le principal étant de donner des seuils d'alerte convenables et des recommandations d'ajustement de la ventilation afin de ne pas dépasser les limites de températures garantissant le bien être des bovins.

Pour les alertes, il a été proposé de se baser sur la température extérieure (10). En effet, nous avons vu que la température dans le camion était fonction et suivait les mêmes

variations que la température extérieure. A. Brulé a même mis au point une équation polynomiale permettant de relier l'écart de température entre intérieur et extérieur avec la température extérieure. Ainsi, selon la température extérieure, une température intérieure prédictive serait donnée comme consigne. On comparerait alors la température de consigne avec chacune des températures données par les sondes du camion. Lorsqu'une température dépasse la consigne, on peut considérer que cela constitue une alerte pour le chauffeur qui doit alors ajuster la ventilation mécanique pour ne pas dépasser la température de consigne.

Les ajustements de ventilation correspondants sont la conséquence des équations que nous avons vu (équation 4) et qui permettent de savoir la variation de température attendue selon la vitesse de l'air en m³/sec.

4. Le problème de la gestion du taux d'humidité grâce à la ventilation.

Aucun texte réglementaire ne donne d'informations sur l'humidité relative dans le camion. Cependant, nous avons vu qu'à des températures élevées l'humidité relative joue un rôle prédominant dans la sensation de chaleur pour les bovins et dans leur état de bien être. La ventilation assure la dissipation de la chaleur mais aussi la dissipation de l'humidité de l'air.

Les normes de ventilation permettant de maintenir les températures en dessous de 30/35°C permettent-elles de la même façon de maintenir une humidité relative en dessous de 25/58% (valeurs d'humidité acceptables pour le bien être à des températures de 30/35°C, III/1) ?

Cette question paraît importante lorsqu'on sait que seules les températures relevées constituent la base de l'ajustement de la ventilation et donc la base de l'évaluation du bien être climatique lors du transport.

Des études expérimentales utilisant le type de ventilation que nous avons décrit et les ajustements nécessaires pour maintenir des températures en dessous de 30/35°C permettent de donner des éléments de réponse à cette question. En effet, lors de ces transports, les humidités ont été mesurées et la ventilation ajustée selon des normes d'humidités valables en élevage.

Pour les températures basses, le maintien d'une ventilation assurant le respect des taux d'humidité ne permet pas de respecter les normes de températures : la ventilation se trouve être trop forte et les températures résultantes trop basses. Un compromis est donc à faire entre humidité et température. Pour des températures basses, l'humidité n'est pas un élément important dans la thermorégulation et le bien être thermique. Une ventilation permettant de respecter les normes de température assurant le bien être lors de situations de froid extérieur est donc acceptable au niveau humidité.

Pour des températures plus élevées, c'est à dire à partir de 20°C environ, les débits de ventilation nécessaires pour assurer une humidité relative en accord les normes en élevage sont très importants et impossibles à obtenir dans des conditions de transport. Ici aussi un compromis est donc à établir entre équilibre hydrique, équilibre thermique et puissance de ventilation disponible en pratique.

D. Surveillance des animaux et ajustement de la ventilation :

L'observation des animaux peut constituer un indice sur les conditions climatiques dans les compartiments des véhicules. Bien entendu, c'est une alerte plus difficile à mettre en place et plus subjective que l'alerte par les sondes de température, mais c'est un élément à prendre en compte dans la mise au point de la maîtrise des conditions climatiques dans les bétailières.

Cela nécessite de trouver des signes de stress thermique facilement observables et quantifiables. L'association de protection animale « Community Action Plan for the Protection and Welfare of Animals » a d'ores et déjà introduit la notion d'indicateurs standardisées et validés de bien être (d'après 67, p79). Un tel concept pourrait permettre aux acteurs de la chaîne de transport d'agir de façon autonome par rapport à la prise en charge du bien être. Une fois que des indicateurs de bases seraient établis, les transporteurs pourraient eux mêmes moduler les conditions de transport afin de satisfaire les normes liées aux indicateurs de bien être. Aujourd'hui, les livrets de « Welfare Quality » donnent des indicateurs de bien être en élevage mais aucun indicateur n'a été étudié pour le confort climatique. Le seul indicateur approuvé dans ces livrets, applicable aux veaux en élevage est le pourcentage de veau avec le dos mouillé de sueur.

Cela impliquerait d'informer les chauffeurs sur les signes de mal être thermique des bovins et de les motiver à prendre du temps pour observer ces signes. Lors des transports expérimentaux, les fréquences cardiaques et températures corporelles étaient mesurés (42) afin de relier les signes extérieurs aux réactions physiologiques. La mise au point d'indicateurs fiables se base sur ce type d'expérimentations.

Les indicateurs de stress thermique en pratique sont la conséquence des réactions de stress vues précédemment (I).

Tableau 16 : signes pratiques pour la détection de l'inconfort thermique (14, 6)

<u>Signes de stress du au froid</u>	<u>Signes de stress du à la chaleur</u>
Frissonnement, les animaux grelottent	Les bovins respirent vite
Les bovins mangent la litière disponible	Les bovins changent souvent de position
Les écoulements naseaux sont gelés	Les bovins sont mouillés de sueur
Les bovins se regroupent dans un coin du compartiment	Les bovins semblent agités
Les bovins semblent léthargiques	

L'observation de ce genre de signe peut être importante lors des pauses. Cela est le reflet de l'efficacité de la ventilation à l'arrêt mais aussi de l'état général des bovins lors de la

séquence de transport précédente. Le chauffeur peut ainsi avoir des informations sur l'efficacité de sa gestion de la ventilation.

Ces observations nécessitent un bon accès aux bovins, ce qui n'est pas toujours évident dans les bétailières. Un système de caméras pour la surveillance hors des pauses est envisageable. Le système peut comporter une caméra placée en hauteur retransmettant les images des bovins dans la cabine du conducteur. Ce dernier a donc la possibilité de voir quand il le désire si les bovins montrent quelques signes de mal être thermique. Ce type de système doit être mis au point avec la consultation des professionnels, la présence d'une caméra pouvant être nuisible à la conduite. Si la présence d'une caméra en cabine n'est pas envisageable, il est possible d'envisager un système de caméra avec contrôle d'images et alertes. Par exemple, si le mouvement des bovins dans le compartiment s'avère être un bon indicateur de bien être un détecteur de mouvement pourrait être mis en place à partir des caméras.

E. Autonomie à l'arrêt :

Le système de ventilation doit pouvoir fonctionner en autonomie, indépendamment du fonctionnement du moteur du camion, réglementairement, cette autonomie doit être de 4 heures. Ce type de générateur de courant indépendant du moteur existe déjà sur les camions frigorifiques et ne devrait pas être difficile à mettre en place sur les camions de transport. La ventilation active doit être mise en route à chaque arrêt volontaire du camion. Les arrêts dus aux embouteillages et l'impossibilité pour les chauffeurs de descendre du camion pour ajuster la ventilation, montrent l'importance d'un contrôle à distance de la ventilation active.

De façon générale, les véhicules doivent être garés, dans la mesure du possible, à l'ombre, dans un courant d'air ne gênant pas la ventilation forcée.

La ventilation doit être mise en route obligatoirement à un débit plus ou moins important selon :

- Les conditions de température dans le camion lorsque l'arrêt est réalisé. Si l'accumulation de chaleur et d'humidité préalable est importante, la ventilation lors de la pause devra être d'autant plus forte.
- Les conditions extérieures.
- Les possibilités de stationnement à l'ombre. Dans la mesure du possible, les véhicules doivent être stationnés à l'ombre
- La durée de la pause : nous avons vu que la durée de la pause avait une influence sur l'accumulation de chaleur dans le camion. La chaleur et l'humidité accumulées dans le camion pendant la pause pose plusieurs problèmes. Tout d'abord, elle constitue une menace pour le bien être des animaux lors de la pause pendant laquelle la ventilation naturelle n'est pas présente et la ventilation active est moins efficace pour dissiper la chaleur. Ainsi, on relève une augmentation de température importante lors des pauses (27). Les THI les plus importants sont relevés lors des périodes estivales et à l'arrêt du véhicule (27).

Ensuite, la chaleur emmagasinée est aussi un facteur à prendre en compte lors de la reprise de la route. La ventilation au cours de la demi-heure qui suit va devoir dissiper la chaleur accumulée lors de la pause ainsi que la chaleur normale produite par les animaux. Cette « récupération post-pause » est importante.

De façon générale, lorsque les conditions climatiques extérieures sont chaudes et humides, il est recommandé de faire des pauses de courte durée : 15 à 20 min pour les pauses intermédiaires, la durée de la pause réglementaire de 1h00 pourrait être réduite dans ces conditions.

F. L'intégration des données par un système embarqué GPS.

Des systèmes de suivi du transport sont déjà en place aujourd'hui pour les transporteurs. Ils permettent de planifier les parcours, d'identifier les animaux qui voyagent afin d'assurer la traçabilité. Ce sont les feuilles de route, elles consignent l'information relatives au lieu de départ et à celui d'arrivée. Elles sont vues et signées par les vétérinaires afin d'assurer le respect des règles d'identification et d'état de chargement des bovins.

Des systèmes plus performants, dynamiques et intégrant un plus grand nombre de données ont été proposés.

Le centre de recherche affilié à la commission européenne décrit un système utilisant la technologie GPS.

Il se base sur des constatations pratiques pour définir des besoins en termes de suivi du transport et proposer un système efficace.

Les informations sur le transport sont actuellement disponibles et plutôt bien conservées. Elles sont cependant dispersées dans différents appareils de collecte de données.

Ces informations proviennent pour la plupart d'un logiciel récemment mis en place : le logiciel TRACES (Trade Control Expert System). Il procure les données concernant le type d'animaux transportés, leur nombre, leur identification, leurs lieux de départ et leurs lieux d'arrivée.

Ce n'est cependant qu'un système « statique » qui ne donne pas d'informations sur les changements qui ont pu avoir lieu lors du voyage (chargements, déchargements d'animaux, chargement de parcours, conditions climatiques défavorables, problèmes de ventilation...)

L'objectif du système propose serait donc de mettre au point un suivi et un monitoring en temps réel du transport.

Un tel système s'appuie sur plusieurs technologies:

- des appareils d'enregistrements de données importantes pour le transport et le bien être des animaux (température, ouverture des volets mécaniques, ouverture des portes de chargement/déchargement
- un système de puces identifiant les animaux chargés et déchargés
- un système de communication des données vers une base de données "utilisateur" où ces informations sont soit stockés soit exploitées par la conducteur en temps.
- Une connexion GPS communiquant en temps réel les informations suivantes :
Position (longitude, latitude)/vitesse/température et humidité/état de la circulation.

Un tel équipement permettrait plusieurs choses intéressantes dans la maîtrise des conditions d'ambiance :

- Localiser les situations à risqué selon le climat extérieur.
- Avertir le conducteur lorsque les conditions dans le camion se dégradent
- Donner des informations résumant le nombre d'animaux, les densités, le type de bêtes transportées et les normes correspondantes en termes de conditions d'ambiance.

Il est donc possible de maintenir les conditions climatiques lors du transport dans des normes acceptables pour le bien être. On entend par acceptable un état d'effort d'adaptation facile à très facile et non pas un état sans effort d'adaptation. Les moyens de maîtrise de l'ambiance permettant cela doivent être bien connus et utilisés par les principaux acteurs du transport : les conducteurs de bétailières. Des progrès sont à faire en matière de conception et d'utilisation des moyens de maîtrise de l'ambiance dans les véhicules de transport. De nombreuses propositions sont faites pour aider les fabricants à proposer des camions de transport plus performant en matière de bien être et économiquement rentables. L'impact de ces propositions doit être étudié et le contrôle de leur application envisagé.

IV Proposition de ventilation à expérimenter.

Après avoir présenté un modèle expérimental testé en conditions commerciales et en avoir expliqué le fonctionnement, il peut être intéressant de réfléchir à un autre système. L'intérêt de présenter un autre type de ventilation se justifie dans la recherche d'une installation moins couteuse en énergie qui exploite en totalité les champs de pression régnant autour du camion.

La figure 12 montre la proposition que nous pouvons faire après avoir pris connaissance des contraintes pratiques.

La zone de surpression devant le camion est mise à profit pour faire entrer l'air dans le camion. L'air entre dans une gaine centrale située au niveau du plafond du compartiment. La gaine est percée de bouches d'aération par lesquelles l'air est conduit depuis la gaine vers les animaux dans chaque compartiment. L'air arrive ainsi sur les bovins par le haut. Des ouvertures latérales munies de volets orientés judicieusement permettent la sortie de l'air.

Dans chaque compartiment la régulation s'effectue par des clapets pilotés par des sondes réglables. Ainsi l'air pourra être dosé en fonction des animaux et des températures souhaitées.

Il est important de noter qu'un tel système ne nécessitera la mise en route du ventilateur qu'en cas de dépassement des limites réglementaires de température ainsi que pendant les arrêts.

On peut penser que le système fonctionnera le plus souvent de façon statique sans l'aide du ventilateur. Des économies importantes : sur les équipements, sur l'investissement, sur la maintenance sont donc possibles.

Il est certain que cette proposition doit être étudiée afin de déterminer son efficacité en conditions commerciales avec des mesures des paramètres d'ambiance associées.

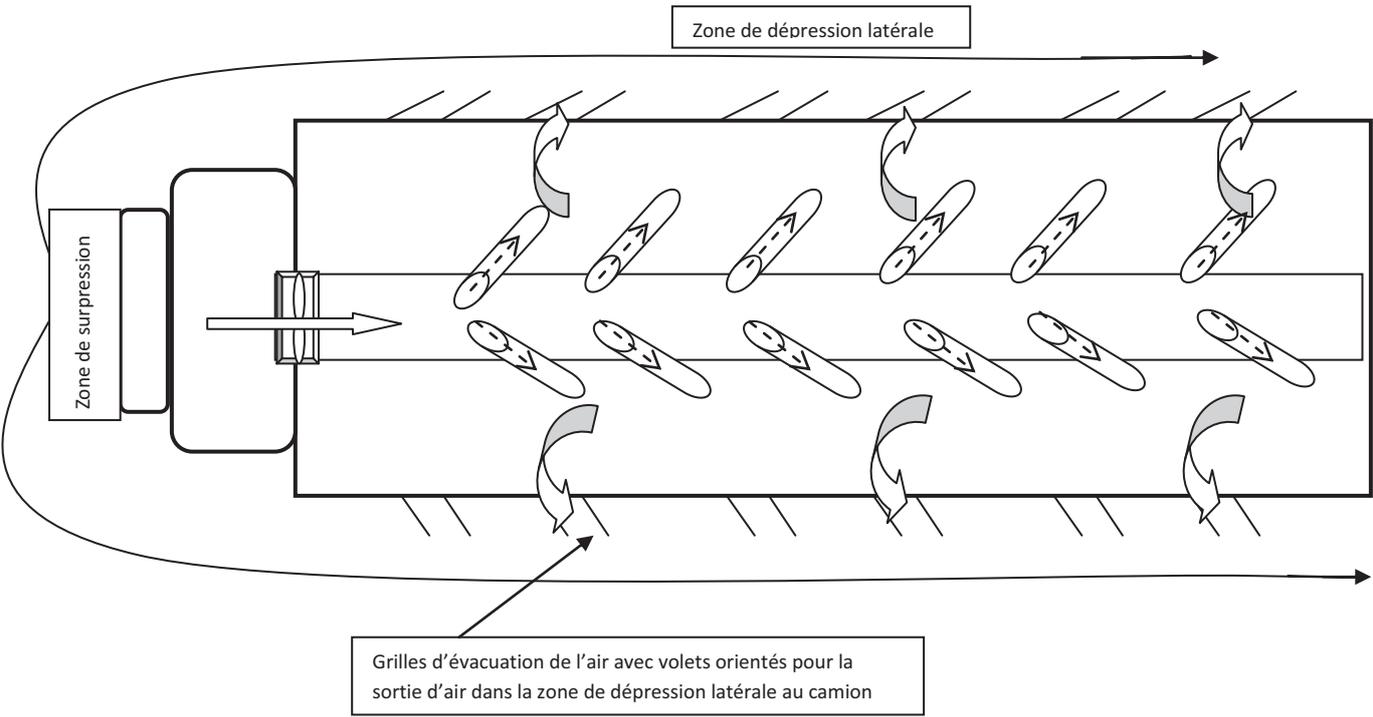
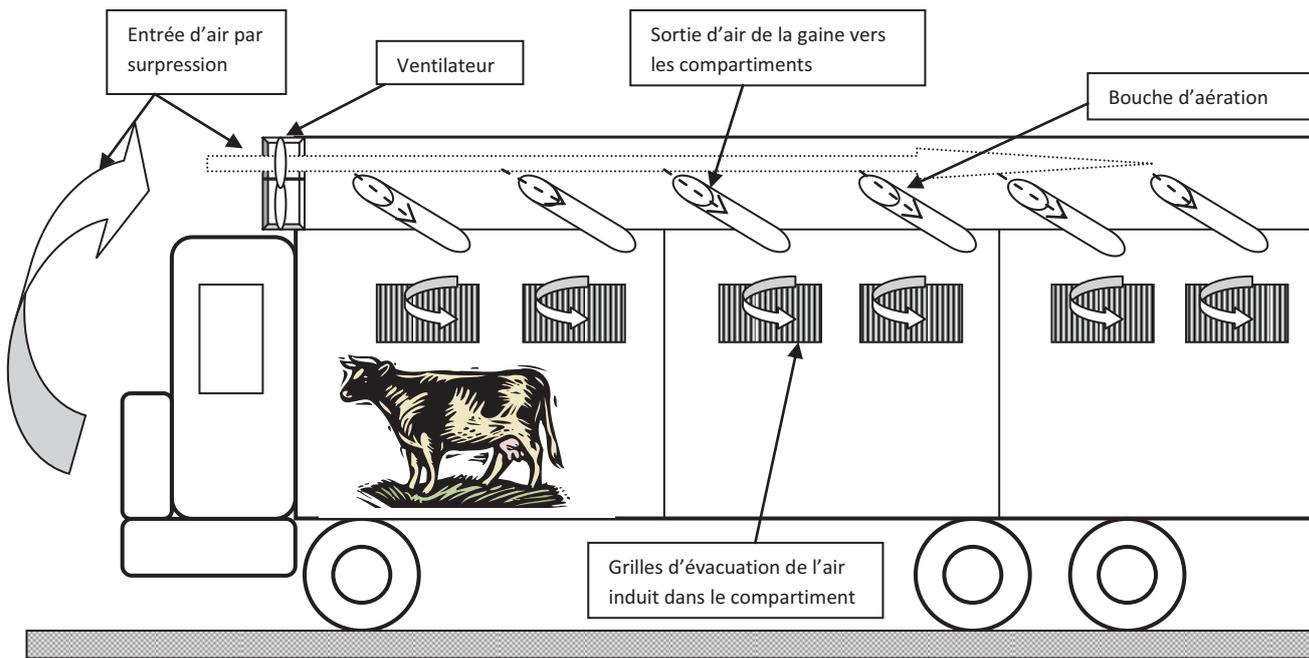


Figure 12 : Proposition de ventilation par mécanisme passif et/ou actif pour une bétailière sans remorque à un seul niveau.

V Envisager la bétailère de demain : Quels impacts ? Quels contrôles ?

La politique européenne d'amélioration du bien être lors du transport repose sur trois objectifs en ce qui concerne le transport sur de longues distances :

- Diminuer les temps de transport dans la mesure du possible ;
- Améliorer les conditions de transport en tenant compte des impacts sur l'économie de la filière ;
- S'assurer que le règlement est correctement appliqué dans tous les pays membres.

Nous avons vu quelles pouvaient être les améliorations et les précisions à apporter au Règlement UE 1/2005 afin d'assurer l'objectif d'amélioration du bien être. Rédiger un règlement, c'est aussi étudier les impacts de ces règles, mettre au point des moyens de contrôle de son application et appliquer des pénalités.

A. L'impact de la maîtrise des conditions d'ambiance.

1. Impact économique

Le coût associé à la mise en application des normes réglementaire est élevé. Une société de transport qui doit mettre aux normes ses camions investit énormément et devrait avoir un retour sur investissement. Il est certain que la prise en compte du bien être peut être un avantage économique, encore faut il pouvoir le quantifier.

Le coût estimatif d'installation du système GPS et des sondes est de l'ordre de 1000 à 5000 euros. Il faut ajouter un abonnement de 20 à 50 euros/mois selon la portée géographique du système (source : transport Armaing/Auterive).

L'effet économique direct réside dans la diminution des pertes par mortalité, une amélioration de la qualité de la viande lorsque l'animal a été dans de meilleures conditions de route (cf. I) ainsi qu'une diminution du risque d'apparition de maladie à l'arrivée pour les animaux non destinés à l'abattoir.

Indirectement, de nombreux marchés se créent autour de filières assurant la prise en compte du bien être tout au long de la chaîne de production. Cela possède un impact non négligeable sur les consommateurs. Ainsi, 63% des consommateurs sont prêts à changer leurs habitudes et leur budget de consommation de viande rouge dans le but de consommer des produits garantissant le bien être des animaux (d'après 67, p72).

2. Impact environnemental

L'impact environnemental doit être envisagé en termes d'émission de CO2 et de consommation d'énergie. En effet, la longueur des trajets, l'utilisation de systèmes électriques couplés au moteur du camion (ventilateurs, abreuvoirs..) posent des problèmes de pollution atmosphérique. L'équipement des camions tel qu'il est décrit dans le règlement

doit être mis en pratique par les concepteurs de bétailière de façon à réduire au maximum l'émission de gaz à effet de serre.

Les propositions précédentes d'équipement des véhicules présentent des avantages environnementaux non négligeables. Tout d'abord, la conception du système de ventilation permet de réduire au minimum les pertes dues à la résistance à l'écoulement de l'air lorsque les ventilateurs sont mal placés. Ensuite, l'ajustement précis du débit de ventilation permet de réduire au minimum la consommation des ventilateurs dont l'énergie principale de fonctionnement est celle générée par le moteur du camion. Enfin, la conception des bétailières avec des matériaux isolants, plus légers, avec des ouvertures favorisant la ventilation naturelle permet de réduire l'impact environnemental du trajet par la route.

La mesure la plus à même de donner une information valable est l'écobilan.

3. Impact social

De façon générale, les citoyens européens considèrent que les standards de bien être dans l'union européenne sont les plus performants dans le monde. Ils sont cependant désireux de recevoir des assurances de la prise en compte du bien être (d'après 67, p73).

Les normes du règlement CE 1/2005 et les moyens de maîtrise mis au point doivent donc être l'objet de contrôle harmonisés au niveau européen. Les contrôles peuvent être de plusieurs natures et assurer le respect des normes de bien être afin d'en rendre compte aux consommateurs.

B. Le contrôle de la mise en application des moyens de maîtrise de l'ambiance.

1. Contrôles vétérinaires et autres : les données à prendre en compte

Les contrôles qui existent aujourd'hui sont effectués par la DSV et les polices des états membres.

Le contrôle par les polices des états membres sont basés sur la sécurité, l'aptitude du camion à prendre la route et le poids total en charge. Le contrôle par les autorités sanitaires porte sur l'identification des animaux, leur état sanitaire, la conception du camion par rapport à leur bien être. La présence d'un système de ventilation active, la présence de sondes de relevés de température et de système d'alerte sont vérifiés pour les transports de longue durée.

Des règlements européens s'appliquent aux services officiels dans le cadre de leurs contrôles. Le Règlement CE n°882/2004 précise que les autorités compétentes doivent programmer leurs inspections (concernant la santé animale et le bien être) sur la base d'une analyse de risque et s'appuyer sur des procédures documentées

2. Faciliter les contrôles : le GPS, une solution ?

Le système de suivi dynamique GPS que nous avons décrit précédemment permet de faciliter les contrôles et surtout de les cibler pour répondre aux règles générales du règlement CE 882/2004.

Les données transmises par GPS permettent de déterminer des situations à risques dans lesquelles peuvent se trouver les véhicules de transport.

Lors du contrôle, les procédures administratives seront réduites, un transfert de données depuis le camion aux ordinateurs des contrôleurs permettra d'obtenir des données nécessaires à la détermination du respect des normes. Les informations relatives aux paramètres d'ambiance seront donc disponibles ainsi que leur suivi dynamique sur tout le transport.

Nous avons eu un aperçu des difficultés existantes pour établir une réglementation qui prendrait en compte la complexité de la notion de confort climatique, la diversité des climats et des types de transport Européens et la difficulté de mise en pratique de normes sur les moyens de maîtrise. Il existe des moyens, provenant des industries agro alimentaires, d'assurer une qualité de transport en terme de conditions climatiques.

VI Une autre façon d'envisager la réglementation : envisager une démarche d'assurance qualité applicable au bien être

A. Le principe :

Le transport des animaux est probablement la partie la plus visible de la filière « animaux de production ». Le transport donne aux consommateurs une image globale de la filière et les conséquences d'une mauvaise image peuvent affecter l'économie de la filière entière. Améliorer le bien être peut donc avoir un impact économique positif direct (moins de stress lors du transport et qualité de la viande) et indirect (confiance et comportement d'achat du consommateur). Le bien être peut alors être placé au même niveau que la sécurité sanitaire ou la qualité des produits d'origine animale.

Les acteurs de la filière disposent de moyens pour certifier certains standards des chaînes de production dans les domaines de la qualité et de la sécurité sanitaire. L'ensemble de ces moyens s'inscrit dans une démarche d'assurance qualité. L'assurance qualité est par définition « l'ensemble des mesures pré établies et systématiques dont l'application et le contrôle donnent confiance qu'un produit répond à ce que l'on attend » (45).

L'assurance qualité repose sur trois outils : un manuel qualité, des procédures à suivre et un audit qualité. De nombreuses entreprises se sont engagées afin que leurs produits satisfassent les utilisateurs. Le transport pourrait faire l'objet d'une démarche qualité avec le bien être comme objectif de satisfaction du consommateur.

On pourrait aussi adapter l'approche HACCP (Hasard Analysis Critical Control Points), à la maîtrise du bien être lors du transport. Il s'agirait en effet d'une « adaptation » car, nous allons le voir, de nombreux principes de l'approche HACCP, ne sont pas applicables pour le bien être.

Ces démarches volontaires ne remplacent pas la réglementation mais la complètent. L'association de règlements et de démarches volontaires d'assurance qualité a déjà fait ses preuves dans d'autres pays tels que le Canada. Les règlements du gouvernement ou des associations donnent des normes acceptables pour assurer le bien être de toutes les espèces lors des différents types de transport auxquelles elles peuvent être soumises. Les démarches volontaires des entreprises prennent la forme de codes de bonnes pratiques, voire de démarches d'assurance qualité ou de plans HACCP appliqués au transport (d'après 67, p96).

Nous allons voir dans quelles mesures ces principes issues de l'hygiène alimentaire peuvent s'appliquer au bien être lors du transport.

B. La méthode HACCP appliquée au transport

La méthode HACCP permet d'identifier tous les dangers liés à un aliment pour les maîtriser en cours de fabrication par des moyens systématiquement vérifiés.

Une approche du bien être lors du transport inspirée de la méthode HACCP a été proposée (d'après 67, p125). La maîtrise des conditions d'ambiance serait en jeu et les dangers liés au transport seraient l'objet de l'analyse.

Les objectifs généraux en termes de conditions d'ambiance seraient fixés par la réglementation, chaque transporteur aurait alors le choix des moyens techniques et du système de contrôle permettant d'atteindre ces objectifs. Les services vétérinaires interviendraient en tant que « juge » du plan mis en place par la société de transport.

La première phase de préparation de l'étude définit les acteurs du transport, les types de transport, les conditions générales de transport, les moyens déjà existant de suivi...Cela aboutit à un diagramme résumant les étapes du transport et les personnes impliquées.

La seconde étape consiste en l'analyse des dangers et des points de maîtrise essentiels. En sécurité des aliments, les risques sont identifiés et les conséquences d'un dépassement des limites critiques sont connues. Un point de maîtrise essentiel est une opération dont la non maîtrise entraîne un risque inacceptable sans possibilité de correction ultérieure. Il apparaît difficile de donner des points de maîtrise essentiels ici. Tout d'abord, le risque est difficilement identifiable. Dans le domaine du bien être animal, il manque encore des indicateurs quantifiables permettant de mesurer un risque. Dans le domaine de la maîtrise des conditions d'ambiance, il manque aussi des procédures définies et de systèmes établis permettant de juger du caractère irréversible de sa non maîtrise. On peut cependant déterminer des cibles de maîtrise, des points pour lesquels on sait que la maîtrise est importante dans la définition des conditions d'ambiance et pour lesquelles la non maîtrise constitue une menace pour le bien être climatique. On peut par exemple citer la densité d'animaux lors du transport, la mise en route de la ventilation dans certaines situations climatiques extérieures...Il faut ensuite fixer des limites critiques pour chacune de ces étapes clés.

La dernière étape de formalisation est plus facile à mettre en place. La surveillance des points de maîtrise peut être intégrée dans le système de transmission et de gestion de l'information à bord du véhicule. Des actions correctives sont mises en place selon les règles de modulation de la ventilation que nous avons vues. La documentation nécessaire, les procédures et les enregistrements peuvent constituer un plus dans les feuilles de route. Les instructions correspondantes aux opérations à effectuer lors du transport et relatives à la surveillance des conditions d'ambiance peuvent constituer un carnet de bord pour les transporteurs.

Une approche de type HACPP peut être envisagée pour la maîtrise des conditions d'ambiance lors du transport et l'assurance du bien être des bovins. Cette approche doit surtout être un point de motivation pour les acteurs de la filière transport. Une démarche volontaire de ce type peut être importante dans la responsabilisation des comportements des transporteurs et dans l'acquisition de compétences et de savoirs faire.

C. La démarche d'assurance qualité appliquée au transport.

Le marché des productions animales Australien, à l'origine de l'application de la méthode HACCP au transport, a parallèlement développé des démarches d'assurance qualité au transport. Le « Joint Research Center » de l'Union Européenne propose aussi une application de ce type de démarche au transport d'animaux.

La qualité du transport dépend des interactions entre l'homme et l'animal et de l'environnement du véhicule de transport. Des mesures d'assurance qualité sont actuellement utilisées en sécurité alimentaire pour assurer des niveaux acceptable de sécurité et réduire les risques. L'analyse de risque est une chose importante dans la démarche d'assurance qualité. Suite à l'analyse de risque, des solutions de maîtrise sont proposées, des guides de bonnes pratiques peuvent être édités.

Normalement, l'analyse de risque identifie des dangers et mesure le risque d'apparition. Les dangers sont de nature physique ou chimique. Cette approche adaptée au bien être identifie les dangers liés au transport qui constituent un risque pour le bien être. La mesure du risque n'étant pas quantifiable, on caractérise le risque de modéré à fort. Les paramètres environnementaux sont des dangers menaçant le bien être. Leur mesure et la connaissance de leur influence sur le bien être pourrait permettre de calculer un risque :

Score de risque = caractérisation du danger * évaluation de l'exposition

Les moyens de mesure de l'environnement dans les véhicules permettent d'assez bien évaluer l'exposition. Il est un peu plus difficile de caractériser le danger que représentent les conditions climatiques du fait, comme nous l'avons vu, de la difficulté de trouver des indicateurs de bien être.

La démarche qualité proposée par le JRC est applicable grâce au système GPS que nous avons vu précédemment. Le suivi dynamique de tous les paramètres permettent en temps réel d'analyser le risque que comporte la situation dans laquelle se trouve le véhicule.

Des systèmes d'alerte et de corrections font partie de la maîtrise du risque. Des limites critiques et des données cibles sont intégrées à ces systèmes.

En Australie, la démarche d'assurance qualité a abouti à la publication de *booklets*. Le premier définit les standards pour le transport, en termes de planification de parcours, d'équipements du véhicule, de conditions de transport. Le deuxième, consiste en un manuel destiné au chauffeur, un guide à l'application des standards. Ce deuxième book let contient des questions organisées dont les réponses constituent la vérification des points de maîtrise importants. Il contient aussi de cibles à atteindre pour les réponses à certaines questions. Le troisième manuel comporte des informations relatives à l'utilisation des listes de *checking*, aux cibles à atteindre et aux moyens recommandés.

La démarche qualité peut aussi aboutir à des codes de bonnes pratiques.

D. Les codes de bonnes pratiques appliqués au transport et la formation des transporteurs.

Ce type de formation a pour objectif d'assurer une formation minimum aux transporteurs sur le bien être mais aussi de leur donner accès à des informations sur les comportements à avoir lors des trajets par rapport aux animaux. La responsabilisation des transporteurs face au bien être est importante. Il est vrai que cette prise en compte est déjà très présente dans la filière du transport d'animaux, en effet, les bovins doivent être livrés dans de bonnes conditions au client pour la satisfaction du receveur mais aussi du vendeur.

De nombreuses recommandations existent déjà et sont publiées par différents organismes ou délivrées sous forme de formations. Les transporteurs Européens réalisant des transports de longue durée reçoivent aujourd'hui une formation aboutissant à l'obtention d'un certificat de capacité. Le certificat de capacité traite notamment du bien être et est obligatoire pour la conduite d'un camion de transport de longue durée. Ce n'est cependant qu'une formation délivrée en France. Les autres pays de l'Union délivrent aussi des formations aux conducteurs de bétailières longues distance mais les consignes de formation ne sont pas harmonisées et chaque pays module l'obligation de formation comme il l'entend.

En France, de nombreux vade-mecum de transport sont publiés par l'institut de l'élevage à l'intention de transporteurs (44). Ils résument et explicitent la réglementation pour la rendre plus accessible aux professionnels. Ils permettent aussi de former et informer les transporteurs sur le comportement des bovins, leur perception de l'environnement et leurs besoins (46).

Ce type de guides de bonnes pratiques existe dans de nombreux pays. Au Royaume Uni, le règlement CE 1/2005 a donné naissance à une publication « *Welfare of Animals During Transport : advices for transporters of cattle* ». Cela se base sur la nécessité pour les personnes transportant des bovins de connaître les procédures et les règles entourant la maîtrise du bien être (47). Au Canada, l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments met à disposition des transporteurs des « Codes de pratiques recommandées pour le soin et la

manipulation des animaux de ferme. Transport. » (40). De manière générale au Canada, les codes de pratiques sont des lignes directrices élaborées à l'échelle nationale sur le soin et la manipulation des animaux de ferme. Ils renferment des recommandations sur le logement et les pratiques d'élevage des animaux de ferme, de même que sur le transport et la transformation.

Les codes, qui ne sont pas obligatoires, visent à favoriser l'adoption de saines pratiques d'élevage et de protection des animaux. Ils renferment des recommandations visant à aider les agriculteurs et autres exploitants du secteur de l'agriculture et de l'alimentation à évaluer leurs pratiques d'élevage et à tenter de les améliorer. Ces codes de pratiques visent à promouvoir des normes acceptables pour l'élevage et le traitement des animaux.

« Le présent code est conçu pour en arriver à un équilibre fonctionnel entre les meilleurs intérêts des animaux et l'industrie du transport. Le présent code adhère au principe fondamental de non-cruauté envers les animaux qui constitue l'élément essentiel à considérer au cours de leur transport. L'application de ce code est volontaire. Toutes les lois et tous les règlements provinciaux et fédéraux ont préséance. Le terme doit est utilisé lorsqu'il existe une obligation légale exécutoire, et le terme devrait est utilisé pour souligner l'importance d'un point. Dans l'ensemble, le présent code est conçu pour être utilisé en tant que guide et outil d'éducation pour la promotion de bonnes pratiques ayant trait au transport et au bien être des animaux. Il est à noter cependant que les codes volontaires ont été acceptés à titre de normes et ont été reconnus comme tels par les cours de justice. On ne prétend pas que les recommandations formulées dans le présent document tiennent compte de toutes les circonstances, mais elles visent à définir des normes élevées pour le transport des animaux d'élevage, espèce par espèce. Le code peut servir de guide aux transporteurs commerciaux, aux producteurs et aux amateurs pour l'évaluation de leurs installations, de leur matériel et de leurs pratiques en ce qui a trait au transport des animaux d'élevage et il peut servir à combler les lacunes. »

A l'échelon mondial, l'OIE donne des lignes directrices pour le transport des animaux de ferme (49).

Au vues de la multitude de guides de bonnes pratiques et recommandations pour le bien être lors du transport, il semble intéressant de croiser les différentes informations concernant le bien être climatique contenues dans ces textes. La synthèse de ces données et la comparaison des recommandations peut permettre d'établir un guide plus complet et enrichit des oints de vues de différents pays et de différents acteurs de la filière. Cela permettra aussi d'harmoniser les guides au niveau européen et de répondre ainsi à la demande d'informations pratiques des constructeurs de bétailières et des sociétés de transport.

Le tableau 17 joint propose un début de synthèse sur ces sujets. Pour chaque guide existant, on a relevé les recommandations relatives à différents sujets pour lesquels le manque d'informations pratiques est évident. La formulation des recommandations a été étudiée en plus des paramètres purement pratiques car c'est un élément déterminant dans l'application des recommandations. La diversité des modes de présentation des recommandations et de la précision des conseils pratiques montre une nécessité

d'harmonisation, au moins à l'échelon Européen, des guides pour le bien être lors du transport.

Tableau 17 : Essai de synthèse des recommandations pratiques pour la maîtrise de l'ambiance lors du transport. Notification de la forme des recommandations et de leur aspect pratique dans différents pays ou organisations.

<i>Critères</i>	<u>Forme des recommandations</u>	<u>Températures et précisions</u>	<u>Conception</u>	<u>Ventilation</u>	<u>Système de surveillance et responsabilités</u>
<i>Type de guide</i>					
<u>Royaume Uni 47</u>	Recommandations pratiques.	Stress thermique lors d'hypothermie ou d'hyperthermie. Plus grande sensibilité à l'hyperthermie.	Grilles d'entrée et de sortie d'air adaptables. Système optimisé pour réduire les couts.	Ventilateurs extracteurs placés en zone de moindre pression extérieure. Ventilation suffisante pour maintenir des conditions acceptables pour les animaux.	/
<u>France 46</u>	Bonnes pratiques : points importants pour le bien être et la sécurité, s'appuyant sur la réglementation européenne et sur des bases scientifiques.	0 à 30°C avec une marge de +/- 5°C selon les conditions extérieures.	Grille brise-vent pour limiter les courants d'air.	Quand la température extérieure atteint plus de 20 degrés, il est nécessaire de ventiler fortement pour éviter une rapide augmentation simultanée de la température et de l'hygrométrie intérieures.	/

<p>Canada 40</p>	<p>Certificat de transport: <i>“Certified Livestock Transporter training program.”</i> Formation basée sur des codes, des recommandations et la législation. Plusieurs parties dans la formation, modules selon les types de transport.</p> <p>Les transporteurs peuvent s’y référer pour « évaluer » leurs pratiques et tenter de les améliorer. Notion de démarche volontaire et d’équilibre entre bien être et intérêts de l’industrie du transport.</p>	<p>Pas de normes citées.</p> <p>Des objectifs : animaux livrés « secs » et en bonne santé. Adapter les densités et les manipulations en fonction du temps.</p> <p>Précautions à prendre par temps froid et par temps chaud et humide.</p>	<p>Les ailerons aérodynamiques installés sur les porteurs-remorqueurs pour améliorer le rendement du combustible ne doivent pas restreindre l’écoulement de l’air dans la remorque, lequel est nécessaire pour la ventilation et le refroidissement.</p>	<p>Durant tout le temps que les animaux se trouvent dans le véhicule, la ventilation doit être suffisante. La ventilation devrait pouvoir s’ajuster de l’extérieur du véhicule selon les changements de température qui surviennent durant le trajet. On peut employer efficacement à cette fin des panneaux réglables.</p>	<p>Le chauffeur est responsable du soin et du bien être continus des animaux durant le fonctionnement du véhicule. Les employeurs sont tenus de bien former leurs employés au sujet des techniques de manipulation sans cruauté, de l’utilisation du matériel, de la réglementation du transport et du soin des bestiaux.</p>
<p>Australie 67</p>	<p>« Check list » : questions à se poser tout au long des opérations de transport. Organisation des bonnes pratiques à chaque étape en fonction de la comparaison entre la réponse donnée et la réponse « cible ».</p>	<p>Pas de normes citées. Les conditions climatiques sont inscrites dans le diagramme d’assurance qualité.</p>	<p>Modèles d’équipement des camions pour les abreuvoirs.</p>	<p>Questions de la « check list » quant à l’ouverture des volets en fonction de conditions extérieures : « <i>avez-vous ouvert les volets latéraux si la température extérieure est élevée ?</i> »</p>	<p>/</p>
<p>Office International des Epizooties 49</p>	<p>Recommandations relatives au bien être dans le code sanitaire pour les animaux terrestres. Bases scientifiques aboutissant à des mesures et à des critères de bien être.</p>	<p>Notions de températures extrêmes mais pas de limites.</p>	<p>Prévoir des structures propres à assurer la protection contre des conditions météorologiques défavorables</p>	<p>Flux d’air produit par le mouvement du véhicule. Ventilation active pour les températures « très élevées »</p>	<p>Inspection des animaux lors de chaque arrêt.</p>
<p>Food Agriculture Organisation 48</p>	<p>Organisations avec des « risques », des « points de contrôle », des</p>	<p>A l’abri de la chaleur du froid et du vent... Les facteurs</p>	<p>Il devrait exister des espaces sur les parois latérales</p>		<p>Les rôles des personnes impliquées à chaque étape</p>

	« pratiques recommandées » et des « mesures conseillées pour réaliser les pratiques »	principaux déterminant le bien être des animaux au cours de leur transport routier sont la conception des véhicules, la densité de chargement, la ventilation, la qualité de la conduite et des routes.	permettant de créer une circulation d'air suffisante pour le confort des animaux sans les surexposer au froid.		du transport des bovins est être clairement définis.
--	---	---	--	--	--

Cette troisième partie nous a permis d'appréhender les principales normes du Règlement UE 1/2005 et d'en comprendre les points faibles. Nous avons pu, grâce aux données des parties 1 et 2 sur le confort climatique et le transport des bovins, proposer des solutions pour la maîtrise des paramètres d'ambiance lors du transport des bovins. Nous avons aussi donné des pistes de réflexion sur la forme que pourraient prendre des recommandations pour les transporteurs et conducteurs de bétailières. Ces solutions seraient à expérimenter et à valider en conditions commerciales.

Conclusion

Le bien être des bovins lors de leur transport par la route sur de longues durées est un point important pour la filière viande bovine actuelle. L'assurance de conditions convenables lors du transport est un gage de qualité pour les consommateurs. Les paramètres d'ambiance lors du transport tiennent une place importante dans le mouvement actuel d'amélioration du bien être. L'Union Européenne, les transporteurs, les associations de protection animale et les chercheurs vétérinaires ou agronomes sont les acteurs de ce mouvement.

De nombreux progrès ont été faits en matière de bien être climatique lors du transport. Le dernier règlement Européen ou les guides de recommandations publiés par INTERBEV en sont des bons exemples. Tous ces textes et surtout leur application pratique doivent s'appuyer sur des bases scientifiques solides et évoluer en fonction d'elles.

Cette thèse a tout d'abord permis de regrouper les dernières données en matière de bien être climatique des bovins. Bien que des indicateurs fixes et étalonnés soient inexistantes dans ce domaine, nous avons vu des moyens de déterminer les possibles « limites » d'une zone de confort thermique.

L'étude des conditions de transport actuelles en Union Européenne et des risques potentiels d'inconfort thermique a été une partie importante pour comprendre la législation et les difficultés potentielles de sa mise en pratique. La mise en évidence d'éléments déterminant dans la maîtrise de l'ambiance lors du transport a ensuite permis de donner des pistes de réflexion pour compléter la réglementation et surtout pour donner des bases pratiques aux concepteurs de bétailières et aux transporteurs.

Deux choses paraissent aujourd'hui importantes à réaliser en matière de bien être climatique pour le transport longue durée de bovins. Il faut tout d'abord adapter la réglementation en tenant compte de la diversité des types de transport, des conditions commerciales et pratiques. Il est ensuite nécessaire d'harmoniser au niveau Européen les recommandations pratiques pour la mise aux normes des bétailières et les moyens de contrôle des équipements assurant le bien être climatique.

AGREMENT ADMINISTRATIF

Je soussigné, A. MILON, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que

Mlle BRETEAU Gaëlle

a été admis(e) sur concours en : 2005

a obtenu son certificat de fin de scolarité le : 9 Juillet 2009

n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

Je soussigné, Hubert BRUGERE, Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, autorise la soutenance de la thèse de :

Mlle BRETEAU Gaëlle

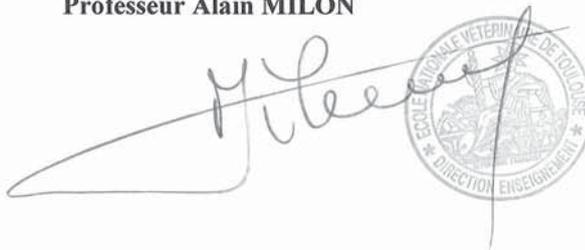
intitulée :

« Etude des paramètres d'ambiance pour le bien être des bovins lors du transport de longue durée. »

**Le Professeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Docteur Hubert BRUGERE**



**Vu :
Le Directeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Professeur Alain MILON**



**Vu :
Le Président de la thèse :
Professeur Eric OSWALD**



**Vu le : 7/02/10
Le Président
de l'Université Paul Sabatier
Professeur Gilles FOURTANIER**



Références bibliographiques :

1. **Communiqué de Presse RAPID.** Questions et réponses concernant le transport des animaux. MEMO/02/295, 16/12/2002. <http://europa.eu/rapid/searchAction.do>
2. **HARTUNG, J.** The new EU Animal transport Regulation: Improved Welfare and Health or Increased Administration? *Deutsch. Tierärztliche Wochenschrift*. 2006, 113, 113-116.
3. **BROOM, D.M.** Causes of poor welfare in large animals during transport. *Veterinary Research Communication*, 2003, 27 Suppl. 1, 515-518.
4. **VANDENHEEDE, M.** Bien être animal : les apports de l'Éthologie. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 2003, 147, 17-22.
5. **FARM ANIMAL WELFARE ADVISORY COMMITTEE (FAWAC).** <http://www.fawc.org.uk/pdf/fivefreedoms1979.pdf>
6. **KETTLEWELL, P., MITCHELL, M., HARPER, E.** 2003 Guide to the ventilation of livestock during transport.
7. **PORCHER, J.** Concevoir des alternatives à l'organisation industrielle du travail en élevage. Un camion pour le transport et l'abattage des animaux. *Bulletin de l'Institut National de Recherches Agronomiques*, 2005, 23. <http://www.inra.fr/sad/publications/fasade.html>
8. **MORAND, P., DOREAU, M.** Ingestion et digestion chez les ruminants soumis à un stress de chaleur. *INRA Productions Animales*, 2001, 14, 15-27.
9. **CAPDEVILLE, J.,** A model for the climatic welfare applied to young cattle transport. Proposition d'article pour publication, 2008, Institut de l'élevage.
10. **AUPIAIS, A., CAPDEVILLE, J., CHUPIN, J.M., LUCBERT, J., PFLIMLIN, A.** Maitrise de la ventilation à l'intérieur d'une bétailière pour bovins. Notion de confort climatique et expérimentation d'un transport longue durée au printemps 1999. *Compte rendu n° 2003320, Institut de l'Élevage.*
11. **SCIENTIFIC COMMITTEE ON ANIMAL HEALTH AND ANIMAL WELFARE. Drs: BARTON-GADE, GEERS, R., HARTUNG, J., HONKAVAARA, KETTLEWELL, NILSSON, SANTOS.** Standards for the microclimate inside animal transport road vehicles. *Report of the European Commission*, adopted on 8 december 1999, Sanco/B3/AW/R13/1999.
12. **GREGORY N. G., GRANDIN, T.** Livestock presentation and welfare before slaughter. 200 p.19-30.
13. **PEDERSEN, S., SALLVIK, K.** Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and houses levels. *International Commission of Agricultural Engineering*, 2002, 4th Report of Working Group, section II.

- 14. RICHARDSON, C.** Le stress du au froid chez les bovins transportés par camion. *Fiche Technique Omafra*, Canada, 2001, ISSN 1198-7138.
- 15. MADER, T.L., DAVIS, M.S., BROWN-BRANDL, T.** Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 2006, 84:712-719.
- 16. HALIPRE, A.** Etude du caractère culard, X. Sensibilité des bovins culards au stress thermique. *Annales Génétique et Sélection Animales*, 1973, 5 (4), 441-449.
- 17. STULL, C., REYNOLDS, J., DVM & MPVM.** Calf welfare. *Veterinary Clinics Food animal practice*, 2008, 24, 191–203.
- 18. BROWN-BRANDL, T., NIENABER, J., EIGENBERG, R., HAHN, G. & FREETLY, H.** Thermoregulatory responses of feeder cattle. *Journal of Thermal Biology* 2003, 28,149–157.
- 19. NANNI COSTA, L., LO FIEGO, D.P., CASSANELLI, M.G., TASSONE, F., RUSSO, V.** Effect of journey time and environmental condition in bull behavior and beef quality during road transport in Nothern Italy. *Deutsch. Tierarztliche Woschenschrift*. 2003, 110, 107-110.
- 20. VERWOERD, W., WELLBY, M. & GRAHAM, B.** Absence of a causal relationship between environmental and body temperature in dairy cows (*Bos Taurus*) under moderate climatic conditions. *Journal of Thermal Biology*, 2006, 31, 533–540.
- 21. FIORE, G., NATALE, F., HOFFHER, J., MAINETTI, S., RUOTOLO, E.** Study on Temperatures During Animal Transport. *European Commission Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen*, 2009, Version 1.4– 07/01/2009.
- 22. BROOM, D.M.** Transport stress in cattle and sheep with details of physiological, ethological and other indicators. *Deutsch. Tierarztliche Woschenschrift*, 2003, 110, 83-89.
- 23. AUPIAIS, A., CAPDEVILLE, J., CHUPIN, J.M.** Le transport de longue durée des bovins vivants. *Rencontres Recherche Ruminants*, 2000, 7.
- 24. WIKNER, J., GEBRESENBET, G., NILSSON, C.** Assessment of air quality in a commercial cattle transport vehicle in Swedish summer and winter. *Deutsch. Tierarztliche Woschenschrift*, 2003, 110, 100-104.
- 25. BRULE, A.** Effet du transport routier sur le bien être des bovins. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 2004, 157, 1.
- 26. SCHONS, HP.P.** Animal transport needs reasonable legislation. *Deutsch Tierarztliche Woschenschrift*, 2003, 110, 91-93.
- 27. FISHER, A.D., STEWART, M., DUGANZICH, D.M., TACON, J.** The effects of stationary periods and external ambient temperature and humidity on thermal stress conditions within sheep transport vehicles. *New Zealand Veterinary Journal*, 2004, 53, 6-9.

- 28. RANDALL, J.M.** Environmental parameters necessary to define comfort for pigs, cattle and sheep in livestock transporters. *Animal Production*, 1993, 57, 299-307.
- 29. TERLOUW, C., KENT, S., DANTZER, R., MONIN, G.** L'hypothermie induite par le stress.
- 30. KETTLEWELL, HAMPSON, GREEN, TEER.** Heat And Moisture Generation Of Livestock During Transportation. *Livestock Environment VI: Proceedings of the 6th International Symposium*, 2001, pp. 519-526.
- 31. HOXEY, R.P., KETTLEWELL, P.J., MEEHAN, A.M., BAKER, C.J., YANG, X.** An Investigation of the Aerodynamic and Ventilation Characteristics of Poultry Transport Vehicles: Part I , Full-scale Measurements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1996, 65, 77 – 83.
- 32. CHEVILLON, P., FROTIN P., ROUSSEAU, P., PRUNIER, A., LE ROUX, A.** Comparaison de trois types de ventilation lors d'un transport de 10 heures. Ambiance et bien-être des porcs. *Tecni Porc*, 2002, 25, 6.
- 33. RANDALL, J. M., PATEL, J.** Thermally Induced Ventilation of Livestock Transporters. online 24 April 2002.
- 34. HOXEY, R.P., KETTLEWELL, P.J., HAMPSON, C.J., GREEN, N.R., MITCHELL, M.A.** Design and Operation of a Prototype Mechanical Ventilation System for Livestock Transport Vehicles. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, 79, 4, 429-439.
- 35. COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES.** RAPPORT DE LA COMMISSION AU CONSEIL ET AU PARLEMENT EUROPÉEN : Sur l'expérience acquise par les États membres depuis la mise en application de la directive 95/29/CE du Conseil modifiant la directive 91/628/CEE concernant la protection des animaux en cours de transport. *Bruxelles, 6.12.2000 COM(2000) 809 final*.
- 36. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to Standards for the microclimate inside animal road transport vehicle** (Question N° EFSA-Q-2003-085). Standards for the microclimate inside animal road transport vehicles. *The EFSA Journal*, 2004, 122, 1-25.
- 37. COMMISSION EUROPEENNE.** Règlement (CE) n° 1/2005 du Conseil du 22 décembre 2004 relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations annexes et modifiant les directives 64/432/CEE et 93/119/CE et le règlement (CE) n° 1255/97. (JOUE du 06/01/2004).
- 38. LAPORTE, R.** Bien transporter les animaux. *Présentation au sommet de l'élevage* (Clermont Ferrand), 2007.
- 39. BLIGH, J., JOHNSON, K.G.** Glossary of terms for thermal physiology. *Journal of Applied Physiology*, 1973, 35: 941-961.

- 40. Conseil de recherches agro-alimentaires du Canada.** Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des animaux de ferme : Transport, 2001. *Disponible auprès de* : L'Agence canadienne d'inspection des aliments, Division de la santé des animaux et de la production.
- 41. BRULE, A., CHUPIN, J., CAPDEVILLE, J., LUCBERT, J. & SARIGNAC, C.** Le transport routier des bovins - Effets des conditions de transport sur le bien-être des animaux et sur les pertes techniques. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire France*, 2004, Tome 157, N° 1. www.academie-veterinaire-france.fr
- 42. GEBRESENBET, G., WINKNER, I., VAN DE WATER, G., FRESON, L., GEERS, R.** A smart system for surveillance of animal welfare during transport. *Deutsch Tierärztliche Wochenschrift*, 2003, 110, 494-498.
- 43. FISHER, A., COLDITZ, I., LEE, C. & FERGUSON, D.** The influence of land transport on animal welfare in extensive farming systems. *Journal of Veterinary Behavior* , 2009, 4, 157-162.
- 44. TOCZE, C.** Protection des animaux vivants (bovins, ovins, caprins) lors du transport : Vade-mecum de la réglementation. *Institut de l'élevage*, 2007.
- 45. JACOBSON, L.H., COOK, C.J.** Partitioning Psychological and Physical Sources of Transport-related Stress in Young Cattle. *The Veterinary Journal*, 1998, 155, 205-208.
- 46. BRULE, A., CHUPIN, J., CAPDEVILLE, J., LUCBERT, J. & SARIGNAC, C.** Le point sur...Transport routier et bien-être des bovins. *Parution Juin 2002, Rédaction : Institut de l'Élevage MNE, Éditeur : INTERBEV 149 rue de Bercy 75595 Paris CEDEX 12.*
- 47. DEPARTEMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS (UK).** Welfare of animals during transport. Advice for transporters of cattle. www.defra.gov.uk/animalh/welfare
- 48. FOOD and AGRICULTURAL ORGANISATION.** Transport des animaux d'abattoir, Section 5. *Source: FAO/OMS*, 2004.
- 49. OFFICE INTERNATIONAL DES EPIZOOTIES.** Transport des animaux par voie terrestre. *Code sanitaire pour les animaux terrestres OIE*, 2009, Chapitre 7.3.
- 50. COMMUNIQUE DE PRESSE DE LA COMMISSION EUROPEENNE.** La Commission salue l'accord au Conseil de règles plus strictes concernant le bien-être des animaux en cours de transport. 2004.
- 51. FERGUSON, D. & WARNER, R.** Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science* 2008, 80, 12–19.
- 52. YOUSEF, M.K.** Stress Physiology in Livestock, Basics principles. *ORC Press*, 1985, ISBN 0-8493-56679.

- 53. Pr TOUTAIN, P.L.** Thermorégulation chez les animaux domestiques. Cours de la Chaire de Physiologie-Thérapeutique, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.
- 54. GRANDIN, T.** Long distance transport and welfare of farm animals. Edited by: APPLEBY, M., CUSSEN, V., GARCES, A., LAYSLEY, L., TURNER, J. 2007.
- 55. GAUGHAN, J., MADER, T., HOLT, S. & LISLE, A.** A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 2008, 86, 226-234.
- 56. SILANIKOV, N.** Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 2000, 67, 1-18.
- 57. SRIKANDAKUMAR, A., JOHNSON, E. & MAHGOUB, O.** Effect of heat stress on respiratory rate, rectal temperature and blood chemistry in Omani and Australian Merino sheep. *Small Ruminant Research*, 2003, 49, 193-198
- 58. AHARONI, Y., BROSH, A., KOURILOV, P. & ARIELI, A.** (2002): (58) *The variability of the ratio of oxygen consumption to heart rate in cattle and sheep at different hours of the day and under different heat load conditions.* *Livestock Production Science*.
- 59. GOVERN, R., BRUCE, J.** A model of the thermal balance for cattle in hot conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2000, 77 (1), 81-92.
- 60. TURNPENNY, J., MCARTHUR, A., CLARK, J. & WATHES, C.** Thermal balance of livestock - A parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 101, 115-27.
- 61. TURNPENNY, J., MCARTHUR, A., CLARK, J. & WATHES, C.** Thermal balance of livestock - Applications of a parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 101, 29-52.
- 62. FIKE, K., PHD, SPIRE, MF, DVM & MS.** Transportation of Cattle. *Veterinary Clinics Food animal practice*, 2006, 22, 305-320.
- 63. GRANDIN, T.** Progress and challenges in animal handling and slaughter in the U.S. *Journal of Applied Animal Behavior Science*, 2006.
- 64. BERBIGIER, P.** Bioclimatologie des Ruminants domestiques en zone tropicale. *Edition par INRA*, 1988. ISBN 2-7380-00681.
- 65. CORPET, D.** Maitrise des dangers HACCP. Cours de la Chaire d'Hygiène de l'Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animales, 2003.
- 66. PHILLIPE, X.** Le transport d'animaux vivants. *CELSE*, 1998.
- 67. VETERINARIA ITALIANA.** Welfare aspects of the long distance transportation of animals. *Rivista di sanità pubblica veterinaria*. Edité par: ADAMS, D.B., THORNBUR, P.M. January march 2008, 44 (1).

Imprimé à TOULOUSE par la S.A.R.L. NOTREL



84, chemin des Capelles • 31300 TOULOUSE
notrel.sarl@wanadoo.fr

<http://www.photocopie-imprimerie-notrel.com>