

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



ECOLE INTER - ETATS DES SCIENCES ET MEDECINE
VETERINAIRES (E.I.S.M.V.)

ANNEE 2008



N°43

INTERRELATIONS ENTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LES PRODUCTIONS ANIMALES *ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE*

THESE

Présentée et soutenue publiquement le 29 juillet 2008 devant la Faculté de
Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de Dakar pour obtenir le grade
de DOCTEUR VETERINAIRE

(DIPLÔME D'ETAT)

Par

Aimable UWIZEYE

Né le 22 Décembre 1981 à GITESI (RWANDA)

Jury

- Président** : **M. Moussa Fafa CISSE**
Professeur à la faculté de Médecine, de Pharmacie et
d'Odonto-Stomatologie de Dakar
- Directeur et Rapporteur** : **M. Germain Jérôme SAWADOGO**
de Thèse Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar
- Membres** : **M. Yalacé Yamba KABORET**
Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar
- M. Serge Niangoran BAKOU**
Maître de conférences agrégé à l'E.I.S.M.V. de Dakar



ECOLE INTER-ETATS DES SCIENCES ET MEDECINE VETERNAIRES DE DAKAR

BP 5077 - DAKAR (Sénégal)
Tél. (221) 33 865 10 08 - Télécopie (221) 825 42 83

COMITE DE DIRECTION

LE DIRECTEUR

- Professeur Louis Joseph PANGUI

LES COORDONNATEURS

- Professeur Justin Ayayi AKAKPO
Coordonnateur Recherche / Développement
- Professeur Malang SEYDI
Coordonnateur des Stages et
de la Formation Post-Universitaires
- Professeur Moussa ASSANE
Coordonnateur des Etudes

Année Universitaire 2007 - 2008

PERSONNEL ENSEIGNANT

☞ **PERSONNEL ENSEIGNANT EISMV**

☞ **PERSONNEL VACATAIRE (PREVU)**

☞ **PERSONNEL EN MISSION (PREVU)**

☞ **PERSONNEL ENSEIGNANT CPEV**

A. DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PRODUCTIONS ANIMALES

CHEF DE DEPARTEMENT : Ayao MISSOHOU, Professeur

S E R V I C E S

1. ANATOMIE-HISTOLOGIE-EMBRYOLOGIE

Serge Niangoran BAKOU	Maître de conférences agrégé
Gualbert Simon NTEME ELLA	Assistant
Camel LAGNIKA	Docteur Vétérinaire Vacataire
Paul Fabrice SHE	Moniteur

2. CHIRURGIE –REPRODUCTION

Papa El Hassane DIOP	Professeur
Alain Richi KAMGA WALADJO	Assistant
Mlle Bilkiss V.M ASSANI	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Fabrice Juliot MOUGANG	Moniteur

3. ECONOMIE RURALE ET GESTION

Cheikh LY	Professeur
Dr Adrien MANKOR	Assistant
Mr Claude Michel WOMBOU TOUKAM	Moniteur

4. PHYSIOLOGIE-PHARMACODYNAMIE-THERAPEUTIQUE

Moussa ASSANE	Professeur
Rock Allister LAPO	Assistant
Mlle Clarisse INGABIRE	Monitrice

5. PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

Germain Jérôme SAWADOGO	Professeur
Nongasida YAMÉOGO	Assistant
Justin KOUAMO	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Sylvain HABIMANA	Moniteur

6. ZOOTECHNIE-ALIMENTATION

Ayao MISSOHOU	Professeur
Dr Simplicie AYSSIWEDE	Assistant
Mr Sosthène HABUMUREMYI	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Francklin Noël JAOVELO	Moniteur

B. DEPARTEMENT DE SANTE PUBLIQUE ET ENVIRONNEMENT

CHEF DE DEPARTEMENT = Rianatou BADA ALAMBEDJI, Professeur

S E R V I C E S

1. HYGIENE ET INDUSTRIE DES DENREES ALIMENTAIRES D'ORIGINE ANIMALE (HIDAOA)

Malang SEYDI	Professeur
Mlle Bellancille MUSABYEMARIYA	Assistante
Serigne Khalifa Babacar SYLLA	Assistant
David RAKANSOU	Moniteur
Mr Gérard Guéboul DIOP	Moniteur

2. MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE-PATHOLOGIE INFECTIEUSE

Justin Ayayi AKAKPO	Professeur
Mme Rianatou BADA ALAMBEDJI	Professeur
Dr Philippe KONE	Assistant
Raoul BAKARI AFNABI	Docteur Vétérinaire Vacataire
Abdel-Aziz ARADA IZZEDINE	Docteur Vétérinaire Vacataire

3. PARASITOLOGIE-MALADIES PARASITAIRES-ZOOLOGIE APPLIQUEE

Louis Joseph PANGUI	Professeur
Oubri Bassa GBATI	Maître - Assistant
Koffi Benoît AMOUSSOU	Docteur Vétérinaire Vacataire
Dieudonné A. DOSSOU	Moniteur

4. PATHOLOGIE MEDICALE-ANATOMIE PATHOLOGIQUE- CLINIQUE AMBULANTE

Yalacé Yamba KABORET	Professeur
Yacouba KANE	Maître – Assistant
Mme Mireille KADJA WONOU	Assistante
Hubert VILLON	Assistant
Medoune BADIANE	Docteur Vétérinaire (SOVETA)
Omar FALL	Docteur Vétérinaire (WAYEMBAM)
Alpha SOW	Docteur Vétérinaire (PASTAGRI)
Abdoulaye SOW	Docteur Vétérinaire (FOIRAIL des petits Ruminants)
Ibrahima WADE	Docteur Vétérinaire Vacataire
Charles Benoît DIENG	Docteur Vétérinaire Vacataire
Arouna NJAYOU NGAPAGNA	Docteur Vétérinaire Vacataire
François Xavier NDUNGUTSE	Docteur Vétérinaire Vacataire

5. PHARMACIE-TOXICOLOGIE

Dr Félix Cyprien BIAOU
Dr Gilbert Komlan AKODA
Assiongbon TEKO AGBO
Egide ISHIMWE
Fara Hanta RATALATA RALAIVAO

Maître-Assistant (en *disponibilité*)
Assistant
Chargé de recherche
Moniteur
Monitrice

C. DEPARTEMENT COMMUNICATION

CHEF DE DEPARTEMENT : Professeur Yalacé Yamba KABORET

SERVICES

1. BIBLIOTHEQUE

Mme Mariam DIOUF

Documentaliste

2. SERVICE AUDIO-VISUEL

Bouré SARR

Technicien

3. OBSERVATOIRE DES METIERS DE L'ÉLEVAGE (O.M.E.)

Christian Enonkpon DOVONOU

Moniteur

D. SCOLARITE

El Hadji Mamadou DIENG
Mlle Naomie KENMOGNE
Aimable UWIZEYE

Vacataire
Docteur Vétérinaire Vacataire
Moniteur

PERSONNEL VACATAIRE (Prévu)

1. BIOPHYSIQUE

Mamadou MBODJ
Boucar NDONG

Maître-assistant
Assistant
Faculté de Médecine et de Pharmacie
UCAD

2. BOTANIQUE

Dr Kandoura NOBA
Dr Mame Samba MBAYE

Maître de Conférences (**Cours**)
Assistant (**TP**)
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

3. AGRO-PEDOLOGIE

Fary DIOME

Maître -Assistant
Institut de Science de la Terre (I.S.T.)

4. ZOOTECHNIE

Abdoulaye DIENG

Docteur Ingénieur
Directeur ENSA-THIES

Léonard Elie AKPO

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

Alpha SOW

Docteur vétérinaire vacataire

5. H I D A O A :

⌘ NORMALISATION ET ASSURANCE QUALITE

Mme Mame Sine MBODJ NDIAYE

Chef de la division Agroalimentaire
de l'Association Sénégalaise de
Normalisation (A.A .S .N.)

⌘ ASSURANCE QUALITE- ANALYSE DES RISQUES DANS LES REGLEMENTATIONS

Abdoulaye DIAWARA
Ousseynou Niang DIALLO

Direction
de l'Elevage du Sénégal

6. ECONOMIE

Oussouby TOURE

Sociologue

PERSONNEL EN MISSION (Prévu)

- 1. ANATOMIE**
Mohamed OUSSAT
Professeur
Institut Agronomique et Vétérinaire
Hassan II (Rabat) Maroc
- 2. TOXICOLOGIE CLINIQUE**
Abdoulaziz EL HRAIKI
Professeur
Institut Agronomique et Vétérinaire
Hassan II (Rabat) Maroc
- 3. PATHOLOGIE MEDICALE**
Marc KPODEKON
Maître de Conférences Agrégé
Université d'ABOMEY-CALAVI
(Bénin)
- 4. PARASITOLOGIE**
Sahidou SALIFOU
Maître de Conférences Agrégé
Université d'ABOMEY-CALAVI
(Bénin)
- 5. BIOCHIMIE**
Georges Anicet OUEDRAOGO
Maître de Conférences Agrégé
Université de BOBO-DIOULASSO
(Burkina Faso)
- 6. H.I.D.A.O.A**
Youssouf KONE
Maître de Conférences
Université de NOUAKCHOTT
(Mauritanie)
- 7. REPRODUCTION**
Hamidou BOLY
Professeur
Université de BOBO-DIOULASSO
(Burkina Faso)
- 8. ZOOTECHNIE**
Abdoulaye GOURO
Professeur
CIRDES BOBO-DIOULASSO
(Burkina Faso)

PERSONNEL ENSEIGNANT CPEV

MATHEMATIQUES

Abdoulaye MBAYE

Assistant
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

2. PHYSIQUE

Issakha YOUM

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

⌘ Travaux Pratiques

André FICKOU

Maître-Assistant
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

3. CHIMIE ORGANIQUE

Abdoulaye SAMB

Professeur
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

4. CHIMIE PHYSIQUE

Abdoulaye DIOP

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

⌘ Travaux Pratiques de CHIMIE

Momar NDIAYE

Assistant
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

5. BIOLOGIE VEGETALE

Dr Aboubacry KANE

Dr Ngansomana BA

Maître-Assistant (**Cours**)
Assistant Vacataire (**TP**)
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

6. BIOLOGIE CELLULAIRE

Serge Niangoran BAKOU

Maître de conférences agrégé
EISMV – DAKAR

7. EMBRYOLOGIE ET ZOOLOGIE

Karamokho DIARRA

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

8. PHYSIOLOGIE ANIMALE

Moussa ASSANE

Professeur
EISMV – DAKAR

9. ANATOMIE COMPAREE DES VERTEBRES

Cheikh Tidiane BA

Professeur
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

10. BIOLOGIE ANIMALE (Travaux Pratiques)

Serge Niangoran BAKOU

Maître de conférences agrégé
EISMV – DAKAR

Oubri Bassa GBATI

Maître - Assistant
EISMV – DAKAR

Gualbert Simon NTEME ELLA

Assistant
EISMV – DAKAR

11. GEOLOGIE

⌘ FORMATIONS SEDIMENTAIRES

Raphaël SARR

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

⌘ HYDROGEOLOGIE

Abdoulaye FAYE

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

12. CPEV

⌘ Travaux Pratiques

Mlle Naomie KENMOGNE
Aimable UWIZEYE

Docteur Vétérinaire Vacataire
Moniteur

Merci à Dieu Créateur
Seigneur Mon Dieu tu es grand.
Tu t'habilles de splendeur et de majesté,
Tu t'enveloppes d'un manteau de lumière.
Que ta gloire, Seigneur, dure toujours !
Réjouis-toi de ce que tu as fait !

Ps. 104, 1-2,31

Mon Fils, n'oublie pas mon enseignement,
Garde en ton cœur mes recommandations.
Grâce à mes conseils,
Tu connaîtras le bien-être et une vie longue et heureuse.
Pratique toujours la bonté et la fidélité ;
Conserve-les comme une parure autour de ton cou,
Grave-les dans ton cœur.

Alors Dieu et les hommes t'aimeront et apprécieront ton bon sens.
Ne te fie pas à ta propre intelligence, mais place toute ta confiance dans le
Seigneur.

Appuie-toi sur lui dans tout ce que tu entreprends et il guidera tes pas.
Accepte, mon fils, que le Seigneur soit ton éducateur et ne dédaigne pas ses
reproches.

Pr 3 : 1-6 ;11

DEDICACES

A DIEU TOUT PUISSANT,

Seigneur ta grâce et ta force m'ont toujours accompagné, Ton esprit de sagesse et de science m'éclaire tout au long de ma vie.

A mon Père **Jean Damascène B.** et à ma chère Mère **Pélagie N.** Pour votre amour, votre soutien, vos encouragements, votre confiance, et tous vos sacrifices qui m'ont permis d'aller au bout de mes rêves. Merci d'avoir cru en moi. Aujourd'hui est le reflet du fruit de tous vos efforts. Je vous aime.

A mon grand frère, **Jean Pierre MWIZERWA**, nos fous rires, nos désaccords. Que ton courage te guide dans tout ce que tu réalises. Que notre fraternité reste aussi unie dans la joie et dans les peines.

A mes petits frères, **Jean Claude KWIZERA** et **Roger Pacifique NISHIMWE** ; Quel joie d'avoir partagé des bons moments ensembles. Vous êtes très chers pour moi et je vous adore beaucoup. Que notre fraternité reste aussi unie dans la joie et dans les peines.

A ma grand-mère paternelle, Chaque jour je pense à toi. Que Dieu te protège.

A mon oncle **Juvénal H.**, très petit tu m'as appris à jouer au football, tes blagues et tes contes qui ne finissaient pas m'ont beaucoup manqué. Que ce travail marque combien je suis reconnaissant.

A mes tantes et oncles, Merci pour tout.

A mes cousins (**jean de Dieu, Léopord,...**) et cousines (**Pacifique, Alphonsine, Verdianne, Eugenie, Claire, Dancille**).

A toute ma famille, à tous ceux qui sont plus là mais qui seraient fiers de mon travail.

Au fratri **Sixte HAKIZIMANA**, depuis longtemps, nous avons fait route ensemble, Sur ton chemin vers le sacerdoce, je te souhaite beaucoup de bonheur.

A **Yves d'Amour**, mon compagnon d'enfance, je garderai toujours ces bons souvenirs d'enfance, notre amitié qui a grandi depuis que nous avons 7 ans, Bien de choses à toi.

A Mlle **Ange ISHIMWE**, pour ta patience, pour ton affection, pour notre amitié de longue date. Merci.

A la Famille du Docteur **Daniel NYAMWASA**, vous avez été toujours là pour moi. Merci pour votre soutien et pour vos conseils.

A la Famille **Thomas MUNYUZANGABO**, vous m'avez montré une famille exemplaire. Chaque fois que je vous fréquente je suis comblé. Merci.

A Mr **Damien MUNYANKUSI**,

Au Docteur **Elisée U. KAMANZI**, Merci pour ton soutien et tes encouragements. Que nos ambitions partagées grandissent !

A **Richard NIWENSHUTI**, merci pour ta franchise, tes confidences, ton soutien, ton amitié et pour ton courage.

A Moïse **SIMBA INTARE**, merci pour tout.

A Monseigneur **Michel NSENGUMUREMYI**, pour vos conseils et vos enseignements,

A Mlle **Halimatou ADAMOU HAROUNA**, à notre relation si particulière, à ta franchise, à ton soutien sans limite, à ton amitié. Pour le stress partagé à l'EISMV depuis le CPEV. Merci pour ta loyauté.

A Mlle **Solange UWISANZE**, Merci pour ta compagnie et ton amitié.

Au Dr **Innocent NIZEYIMANA**, Bien de choses à ta famille.

Au Docteur **Natacha MUMPOREZE**,

Au Docteur **Olivier KAMANA**, pour ton amitié,

Au Docteur **Landry Ndriko MAYIGANE**,

Au Docteur **Sosthène HABUMUREMYI**,

Au Docteur **Fidèle KABERA**,

Au Docteur **Roger RUKUNDO**,

A la famille du Docteur **Jean Félix et Christine KINANI**,

A la famille **Samuel et Béatrice**, Merci

A mes amis du Petit Séminaire Saint Jean de NKUMBA (**Yves, Beaufort, Jean François, Jean Bosco, Jean Aimé, Egide, Makuza**) et à tout ceux que je me réserve de ne pas citer.

A **Second Fidens, JMV, Ephrem** pour notre revue « PANORAMA ».

A Son Excellence **Pierre HAZETTE**, Parrain de la 35^e Promotion, votre générosité et votre qualité d'éducateur « l'oued des dattes et l'oued du savoir » nous ont marqué, recevez nos hommages respectueux.

A mes compatriotes de la 35^e promotion. Merci pour tous les moments passés ensembles.

A mes camarades de la 35^e Promotion **Pierre HAZETTE**, vous avez vu que la volonté, le courage et la détermination sont des bons outils pour la réussite. Merci pour tous les moments partagés et pour l'amitié qui s'est installée. Bonne chance à tous.

Aux Docteurs **Xavier Boutros, Jean Paul BITEGA, François, Emmanuel, Olivier, Fidèle, Blaise**.

A **Fidèle GAHAMANYI**,

A mes collègues de travail à la scolarité de l'EISMV (**Mr M. DIENG, Mlle N. KENMOGNE, Mlle A. DIAGNE**). Cette année passée ensemble m'a appris beaucoup.

A mes amis de Dakar (**Sylvestre, Arcade, Marie Fausta, Yvonne, Jean de Dieu, Richard, Manzi, Rosine, Clarisse, Egide, Gervais, Maurice, Kizito, Josine, Fabrice, Muganga, Jean Claude, Manu Ragabo, Coumba, Daouda, Christian,...**) et à vous que je me réserve de ne pas citer de peur de ne pas finir.

A tout les membres de **LAFAM**, pour votre vision pour la femme africaine.

A mes amis du Rwanda (**Diogène, Maurice, Pierrine, Josée, Solange, Alice, Christine, Régine, Chantal, François, Valens, Vivens, Eric,...**).

A l'Amicale des Etudiants Vétérinaires Rwandais à Dakar (**AEVR**)

A l'Association des Etudiants Rwandais au Sénégal (**AERS**),

A toute la communauté rwandaise du Sénégal,

A l'Association des Scouts du Rwanda (**ASR**), pour la passion pour la nature et l'éducation des jeunes.

A tous les gens pour qui je compte à l'école et à ces 6 années inoubliables passées à l'**EISMV**, placées sous le signe de l'insouciance, de la détermination, du travail et de la fête.

A toutes ces révisions de devoirs dans les amphis qui me faisaient mal à la tête, à tous ces lendemains d'examens qui m'entraînaient dans un stress terrible,

A toutes ces vacances passées au Sénégal ;

A tout ce qui fait la magie des années estudiantines ...

Au Rwanda, pays des milles collines, terre plein de souvenirs, qui m'a vu naître et m'a permis de suivre cette formation vétérinaire.

Au Sénégal, pays d'accueil, pour ta Teranga.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre immense gratitude à l'endroit de tous ceux qui ont œuvré de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail :

Au gouvernement rwandais, pour avoir permis de réaliser mon rêve,

Mr **Emmanuel MUVUNYI**, Director of Student Financing Agency for Rwanda (SFAR)

Professeur **Louis Joseph PANGUI**, Directeur de l'EISMV

Professeur **Germain Jérôme SAWADOGO**, Pour avoir accepté et dirigé ce travail,

Professeur **Moussa ASSANE**, Coordinateur des Etudes de l'EISMV,

Feu Docteur **Nongasida YAMEOGO**, vous nous avez quitté très tôt, je garderai toujours votre image de travailleur. Que Dieu vous accueille dans son paradis

Mr **Aliou NACRO**, Agent comptable de l'EISMV

Docteur **Justin KOUAMO**

Docteur **Mohamed Moctar MOUCHE MOULION**

Dr **Sylvain HABIMANA**, Mr **Henri Magloire BOUYOGUENO**, Mme **Abba SENE**

Tous les enseignants de l'EISMV

Tous mes encadreurs de stage (au Sénégal, au Rwanda et en Belgique)

Mme **Mariam DIOUF**

Tout le personnel de l'EISMV

Mr **Ousmane SOW**, Mr **CISSE**, Mr **Doudou KA**, Chauffeurs à l'EISMV

Tous ceux que je n'ai pas cités et qui de près ou de loin nous ont soutenus et contribués à rendre agréable notre passage au Sénégal.

A NOS MAITRES ET JUGES

A notre Maître et Président du jury, Monsieur Moussa Fafa CISSE

Professeur à la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de Dakar ; C'est un grand privilège que vous nous faites en présidant notre jury de thèse. Votre abord facile et la spontanéité avec laquelle vous avez répondu à notre sollicitation nous ont profondément marqués.

Soyez rassuré, honorable président, de notre sincère reconnaissance.

A notre Maître, Directeur et Rapporteur de thèse, Monsieur Germain Jérôme SAWADOGO,

Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar,

Malgré vos multiples occupations, vous avez suivi et encadré ce travail avec rigueur et disponibilité. Nul n'est besoin de souligner ici vos qualités humaines et scientifiques. Nous avons découvert en vous un maître exemplaire. Veuillez trouver ici l'expression sincère de notre profonde considération et de toute l'estime que nous portons en vous.

A notre Maître et Juge, Monsieur Yalacé Yamba KABORET

Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar,

Nous ne pouvons pas trouver les mots justes pour vous exprimer notre reconnaissance. Tout au long de notre passage à l'E.I.S.M.V., nous avons été marqué par votre disponibilité, votre rigueur scientifique et vos qualités humaines.

Veuillez trouver dans ce travail toute notre profonde gratitude.

A notre Maître et Juge, Monsieur Serge Niangoran BAKOU

Maître de conférences agrégé à l'E.I.S.M.V. de Dakar,

Vous nous avez fait l'honneur d'accepter de juger ce travail de thèse malgré vos multiples occupations. Votre disponibilité, votre rigueur scientifique, vos qualités humaines et votre amour du travail bien fait nous ont marqué tout au long de notre passage à l'E.I.S.M.V.

Veuillez trouver dans ce travail toute notre profonde gratitude.

« Par délibération la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto – Stomatologie et l'Ecole Inter – Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar ont décidé que les opinions émises dans les dissertations qui leur seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent donner aucune approbation ni improbation. »

LISTE DES ABREVIATIONS

°C	: Degré Célcius
CCNUCC	: Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
ENSO	: El Niño/South Oscillation (<i>Oscillation australe</i>)
EPICA	: European Project for Ice Coring in Antarctica (<i>Projet Européen pour l'extraction des noyaux de glaces de l'Antractique</i>)
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations (<i>Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture</i>)
FNUAP	: Fond des Nations Unies pour la Population
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
IFEN	: Institut Français de l'environnement
INRA	: Institut National de Recherche Agricole
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC)
ITH	: Indice de Température - Humidité
LEAD	: Livestock Environment And Development (<i>Elevage, Environnement et Développement</i>)
MEA	: Millenium Ecosystem Assessment (<i>Situation des écosystèmes du millénaire</i>)
MENV	: Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (<i>Administration Nationale de l'aéronautique et de l'espace</i>)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration (<i>Administration nationale des océans et de l'atmosphère</i>)
pH	: Potentiel d'Hydrogène
PNB	: Produit National Brut
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
PRG	: Potentiel de Réchauffement Global
SV	: Matière solide volatile

- UNEP** : United Nations Environment Programme (*Programme des Nations Unies pour l'environnement*)
- WBGU** : German Advisory Council on Global Change (*Conseil consultatif Allemand sur le changement global*)
- WMO** : World Meteorological Organisation (*Organisation Mondiale de la Météorologie*)
- WRI** : World Resources Institute (*Institut des ressources mondiales*)
- WWF** : World Wide Fund (*Fond mondial pour la faune sauvage*)

LISTE DES FIGURES ET ILLUSTRATIONS

Figure 1: Changements de la température terrestre selon l'âge de la carotte glaciaire	8
Figure 2: (a) Variations de la température à la surface de la Terre au cours des 140 dernières années et (b) au cours du dernier millénaire	15
Figure 3: Projections des conditions climatiques extrêmes	19
Figure 4: Evolution des concentrations des gaz à effet de serre par rapport à 1750	20
Figure 5: Mécanisme de l'effet de serre.....	23
Figure 6: Forçage radiatif en 2000 par rapport en 1750	24
Figure 7: Sélection des effets clés en Afrique	37
Figure 8: Répartition des émissions humaines de gaz à effet de serre par gaz en 2004, en milliards de tonnes équivalent carbone.	45
Figure 9: Indicateurs de l'influence de l'Homme sur l'atmosphère pendant l'ère industrielle.....	46
Figure 10 : Sources agricoles du méthane	48
Figure 11 : Formation du méthane au cours de la digestion chez les ruminants	49
Figure 12 : Produits terminaux de digestion microbienne des glucides chez le ruminant.....	51
Figure 13 : Sources agricoles de protoxyde d'Azote (N ₂ O)	62
Figure 14 : Source et puits agricoles du gaz carbonique	65
Figure 15 : Emissions annuelles de gaz à effet de serre par secteur.....	67

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1: Sommet du mont KILIMANDJARO prise le 17 février 1993	13
Photo 2: Sommet du Mont KILIMANDJARO prise le 21 février 2000	14
Photo 3 : Effets du réchauffement climatique : la fonte des glaces aux pôles (ici, en Antarctique) et l'extension des terres soumises à la sécheresse (ici, en Thaïlande).	18
Photo 4: Sécheresse au Sahel	40
Photo 5: Mortalité des animaux au KENYA	74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Concentrations atmosphériques en volume, durée de séjour et potentiel de réchauffement global (PRG) des principaux gaz à effet de serre	21
Tableau II: Sensibilité de certaines régions asiatiques aux changements climatiques.	29
Tableau III: Estimation de la production annuelle de méthane par différentes espèces animales.	47
Tableau IV: Production du méthane par les animaux en Chine	53
Tableau V: Coefficients d'émissions annuelles de CH ₄ pour le bétail et le fumier	56
Tableau VI: Comparaison des quantités du gaz méthane émis par les élevages intensif et extensif	57
Tableau VII: Gaz à effet de serre produits dans les bâtiments d'élevage	66
Tableau VIII: Effet de la chaleur sur les vaches laitières.....	79
Tableau IX: Influence du climat tropical sur la production de lait des vaches Holstein	80
Tableau X: Cas de la production des bovins	95
Tableau XI: Cas des productions porcine et avicole (production intensive)...	97

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE: GENERALITES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	4
CHAPITRE I : HISTORIQUE ET SITUATION ACTUELLE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES....	5
1.1. HISTORIQUE	5
1.1.1. Variabilité du climat.....	5
1.1.2. Périodes de glaciations.....	6
1.1.3. Facteurs physiques influençant la variabilité du climat.....	9
1.1.3.1. Insolation.....	9
1.1.3.2. Paramètres de Milanković	9
1.1.3.3. Albédo.....	10
1.1.3.4. Phénomène El Niño/Oscillation Australe (ENSO)	11
1.2. SITUATION ACTUELLE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	12
1.2.1. Variation globale des températures terrestres.....	12
1.2.1.1. Variation de la température à la surface de la Terre	12
1.2.1.2. Variation de la température de l'atmosphère	16
1.3. AUTRES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	16
1.4. PHENOMENE DE L'EFFET DE SERRE.....	19
1.4.1. Gaz à effet de serre.....	19
1.4.2. Rayonnement du corps noir	22
1.4.3. Mécanisme de l'effet de serre.....	22
CHAPITRE II. CONSEQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT, VULNERABILITE ET ADAPTATION	26
2.1. NOTION DE SENSIBILITE, DE CAPACITE D'ADAPTATION ET DE VULNERABILITE	27
2.2. CONSEQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES PAR ZONE GEOGRAPHIQUE	28
2.2.1. Asie	28
2.2.1.1. Mesures d'adaptation.....	30
2.2.2. Australie et Nouvelle Zélande.....	31
2.2.2.1. Mesures d'adaptation.....	32
2.2.3. En Europe.....	32
2.2.3.1. Mesures d'adaptation.....	33
2.2.4. Amérique du Sud	34
2.2.5. Amérique du Nord.....	35
2.2.6. Afrique	36
2.2.6.1. Sécheresse et pastoralisme au Sahel.....	39
DEUXIEME PARTIE : INTERRELATIONS ENTRE CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LES PRODUCTIONS ANIMALES	43
CHAPITRE I. EMISSIONS DES GAZ À EFFET DE SERRE ET L'ELEVAGE	44
1.1. SOURCES DE GAZ A EFFET DE SERRE (GES) DANS LES ELEVAGES	44

1.2.	METHANE (CH ₄)	46
1.2.1.	<i>Digestion des polygastriques et la production du méthane</i>	48
1.2.1.1.	Facteurs influençant la production du méthane	49
1.2.1.2.	Influence du régime alimentaire sur la production du méthane.....	52
1.2.1.3.	Elimination du méthane dans l'atmosphère	53
1.2.1.4.	Les relations stœchiométriques.....	53
1.2.2.	<i>Emissions du méthane par les déjections</i>	55
1.2.3.	<i>Méthode de calcul de la production du méthane chez les animaux</i>	55
1.2.3.1.	Comparaison d'émissions du méthane chez les bovins élevés en système intensif et extensif..	56
1.2.4.	<i>Moyens disponibles pour la réduction de la production du méthane</i>	57
1.2.4.1.	Augmentation de la productivité animale.....	57
1.2.4.2.	Antibiotiques ionophores	58
1.2.4.3.	Acides gras à longue chaîne	59
1.2.4.4.	Autres méthodes	59
1.3.	PROTOXYDE D'AZOTE (N ₂ O)	61
1.3.1.	<i>Digestion chez les monogastriques et production de l'ammoniac</i>	63
1.3.2.	<i>Mesures de réduction des émissions de l'ammoniac</i>	63
1.3.2.1.	Utilisations des additifs	63
1.3.2.1.1.	Acides organiques	63
1.3.2.1.2.	Utilisation des produits enzymatiques.....	64
1.3.2.1.3.	Utilisation des bactéries vivantes	64
1.4.	DIOXYDE DE CARBONE (CO ₂)	64
1.5.	VAPEURS D'EAU.....	66
1.6.	SOURCES AGRICOLES DE GAZ A EFFET DE SERRE PAR SECTEUR	66
1.7.	ELEVAGE INDUSTRIEL ET L'ENVIRONNEMENT.....	67
1.7.1.	<i>Elevage des vaches laitières</i>	67
1.7.2.	<i>Production porcine</i>	69
CHAPITRE II. IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES PRODUCTIONS ANIMALES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE		71
2.1.	IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES DIFFERENTS SYSTEMES D'ELEVAGE DES BOVINS	71
2.1.1.	<i>Système extensif</i>	72
2.1.1.1.	Augmentation de la mortalité des animaux.....	74
2.1.1.2.	Concurrence entre éleveur et animaux.....	75
2.1.1.3.	Dégradation des réserves naturelles	75
2.1.1.4.	Conflits entre éleveurs et agriculteurs.....	75
2.1.1.5.	Redistribution géographique des maladies transmises par les vecteurs	76
2.1.2.	<i>Système semi intensif</i>	77
2.1.3.	<i>Système intensif</i>	77
2.1.3.1.	Production des vaches laitières.....	77
2.2.	IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION PORCINE.....	81
2.2.1.	<i>Effets de la chaleur sur les performances des porcs</i>	82
2.2.1.1.	Truie en lactation.....	82
2.2.1.2.	Truie en gestation	83

2.2.1.3.	Verrat	84
2.2.1.4.	Porc en croissance	85
2.2.2.	Méthodes permettant d'atténuer les effets de la chaleur	85
2.2.2.1.	Modifications de la conduite d'élevage	85
2.2.2.2.	Sélection d'animaux adaptés au climat	85
2.3.	IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION AVICOLE	87
2.3.1.	<i>Augmentation de la fréquence cardiaque.....</i>	<i>88</i>
2.3.2.	<i>Augmentation du rythme respiratoire.....</i>	<i>88</i>
2.3.3.	<i>Activités physiques des animaux.....</i>	<i>89</i>
2.3.4.	<i>Ingéré énergétique.....</i>	<i>89</i>
2.3.5.	<i>Conséquences de la chaleur sur les performances zootechniques des volailles</i>	<i>90</i>
2.3.6.	<i>Solutions pratiques pour lutter contre la chaleur</i>	<i>90</i>
2.3.6.1.	Moyens zootechniques	90
2.3.6.2.	Moyens médicamenteux	92
2.4.	IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES PRODUCTIONS HALIEUTIQUES.....	94
2.5.	ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTS SYSTEMES DE PRODUCTION FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	95
2.6.	PERSPECTIVES DE RECHERCHE EN AFRIQUE	98
CONCLUSION GENERALE.....		100
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		104



INTRODUCTION

Les changements climatiques mondiaux se passent à des taux beaucoup plus rapides que ce qui avait été prédit précédemment [IPCC, 2007]. La température moyenne à la surface de la terre a augmenté de 0,6°C au 20^e siècle [IPCC, 2001a]. Les activités humaines surtout le développement industriel depuis le XIX^{ème} siècle, ont contribué à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) tels que le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'Azote (N₂O) ainsi que des aérosols qui amplifient la hausse des températures terrestres actuelles.

En effet, le 4^e rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a affirmé sans équivoque que l'origine anthropique du réchauffement climatique actuel est un fait bien établi [IPCC, 2007].

Cependant, les animaux d'élevage émettent une quantité considérable des GES à travers la digestion des grands ruminants ou le compostage des déjections d'élevage [BLAXTER et CLAPPERTON, 1965]. Ainsi, ils jouent un rôle important dans l'amplification de ce phénomène. Chaque année, les ruminants émettent 15% de la production de gaz méthane dégagée dans l'atmosphère [IPCC, 2001b].

Par ailleurs, les écosystèmes seront menacés par la variation des régimes des précipitations, de l'avancée de la sécheresse et des changements dans l'utilisation des sols. Les élevages seront affectés également par les conséquences du réchauffement climatique à cause de la raréfaction des pâturages dans les zones arides et semi-arides, par la crise alimentaire mondiale avec la hausse des prix des céréales ; même si les prévisions de changement climatique par région ne montrent pas systématiquement l'apparition de conditions plus arides, entraînant de plus grands stress hydriques pour les plantes et les animaux [DIETZ et al., 2004].

Les changements climatiques sont un grand défi à relever par la race humaine. Cependant, certaines régions sont plus vulnérables que d'autres. A long terme, toute la planète est exposée. Ses conséquences sont d'ores et déjà graves et ne font que croître. Les plus importantes sont l'élévation de la

température terrestre, l'augmentation des niveaux des océans, la fonte des glaciers et de la banquise, l'augmentation de la puissance des tempêtes tropicales, les changements des saisons, etc.

Le Rapport mondial sur le développement humain du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) prévient que le monde devrait faire porter toute son attention sur l'incidence des changements climatiques sur le développement ; lesquels risquent de causer des revers sans précédent en matière de réduction de la pauvreté, de nutrition, de santé et d'éducation **[PNUD, 2007]**.

Par ailleurs, il est important en tant que vétérinaire de faire une étude de synthèse pour monter l'impact des changements climatiques sur les productions animales et sans nul doute, ce travail servira toute la composante de l'élevage surtout en Afrique.

L'objectif principal de notre étude est de rassembler et de synthétiser les connaissances actuelles sur les interrelations entre les changements climatiques et les productions animales.

De façon spécifique, il s'agit de :

- Faire l'état de lieu du rôle des productions animales dans le réchauffement de la planète,
- Faire l'état de lieu de l'impact des changements climatiques sur les productions animales,
- Dégager quelques perspectives de recherche en Afrique.

Ce travail basé sur une synthèse bibliographique comprend deux parties :

- Les généralités sur les changements climatiques ;
- Les interrelations entre les changements climatiques et les productions animales.



PREMIERE PARTIE

**GENERALITES SUR LES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES**

CHAPITRE I : HISTORIQUE ET SITUATION ACTUELLE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

1.1. HISTORIQUE

Selon le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), les changements climatiques sont des variations statistiquement significatives de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant une période prolongée (généralement des décennies ou plus). Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou encore à la persistance de variations anthropiques de la composition de l'atmosphère ou de l'utilisation des sols **[IPCC, 2001a]**.

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son article premier, par contre, définit les changements climatiques comme "des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables". La CCNUCC fait donc une distinction entre "les changements climatiques" attribuables à l'activité humaine altérant la composition de l'atmosphère et la "variabilité du climat" imputable à des causes naturelles. **[CCNUCC, 1998]**. Le dernier et Quatrième rapport du GIEC affirme que la probabilité pour que le réchauffement climatique soit d'origine humaine est de plus de 90% **[IPCC, 2007]**.

1.1.1. Variabilité du climat

Depuis des milliers d'années, la Terre a été soumise à des fluctuations climatiques. Pour apprécier ces variations antérieures, les scientifiques utilisent les indices indirects.

En effet, l'un des indices est l'appréciation de l'épaisseur des cernes de croissance des arbres qui augmentent en cas de forte chaleur, par les

indicateurs dendrochimiques et dendrométriques [BECKER et al., 1989]. Les indicateurs dendrochimiques permettent d'identifier les causes d'évolution et de fluctuations de la productivité des forêts par l'analyse des éléments minéraux dans les cernes (^{15}N , ^{13}C et ^{18}O). Les indicateurs dendrométriques (de la croissance et de propriétés du bois) s'intéressent à la densité du bois, à la composition biochimique en lignine et de la cellulose [GUEHL et al., 2004].

L'étude des pollens (palynologie) contenus dans les carottes sédimentaires de milieux humides permet de reconstituer les zones de végétation passées en fonction des exigences climatiques propres aux espèces. Les noyaux de glace polaire constituent les seules archives qui, sur les mêmes échantillons, donnent accès à des informations à la fois sur la modification du climat de notre planète et de la composition de l'atmosphère.

L'analyse des carottes de glace joue un rôle essentiel dans la compréhension des différents mécanismes impliqués dans l'évolution naturelle du climat au cours des derniers grands cycles de périodes glaciaires et interglaciaires [EPICA, 2004]. D'autres indices sont souvent utilisés, nous pouvons citer les indices provenant des coraux, des océans et des lacustres.

1.1.2. Périodes de glaciations

Le climat global de la Terre a de tout temps connu des modifications, suivant différents cycles climatiques de réchauffement puis de refroidissement, qui diffèrent par leur durée (de quelques milliers à plusieurs millions d'années), mais aussi par leur amplitude.

Ainsi, pour étudier les climats récents de l'ère quaternaire (de -1,8 millions d'années à aujourd'hui), les carottages de glace en Antarctique sont prélevés, ce qui permet de descendre, jusqu'à plus de 3 500 mètres de profondeur. Ceci permet aussi de ramener à la surface des glaces vieilles de plusieurs centaines de milliers d'années. Les scientifiques ont aussi prélevé des carottes de glace sur les montagnes de haute altitude telles que les Andes au Pérou et en Bolivie, le Mont Kilimadjaro en Tanzanie, et les Himalayas en Asie [RIENBEEK, 2005]. Ces carottes de glace ont fourni les moyennes

annuelles de la température terrestre, des précipitations, de la composition de l'atmosphère, des activités volcaniques et les vents. La composition isotopique de l'oxygène de la glace permet de reconstituer les températures atmosphériques depuis une période qui remonte jusqu'à -750 000 ans **[RIEBEEK, 2005]**.

La carotte de glace antarctique de Vostok, incorporant les 420 000 dernières années de l'histoire de la terre, montre une remarquable corrélation entre le climat et les gaz à effet de serre au cours des quatre cycles glaciaires et interglaciaires (naturellement récurrents à des intervalles d'environ 100 000 ans) **[PETIT et al., 1999]**. Par ailleurs, trois kilomètres de carottes de glace ont été extraits du site de Dôme C en Antarctique, ce qui a permis aux chercheurs de révéler les secrets du climat des 740 000 dernières années, représentant à ce jour la plus ancienne reconstitution climatique jamais obtenue **[EPICA, 2004]**.

Cela confirme que les périodes d'accumulation de CO₂ ont vraisemblablement contribué au réchauffement de la planète avec des transitions majeures à la surface du globe. Les résultats montrent également que les activités humaines ont entraîné des concentrations actuelles de CO₂ et CH₄, qui sont sans précédent au cours des 650 000 dernières années de l'histoire de la terre **[SIEGENTHALER et al., 2005]**.

Les climatologues s'accordent sur le fait que la Terre a traversé plusieurs cycles de réchauffement et de refroidissement planétaire durant les 400 000 dernières années. Plusieurs cycles de 100 000 ans environ se sont répétés au cours de cette période. Ces cycles commencent par un réchauffement brutal suivi d'une période chaude de 10 000 à 20 000 ans environ, appelée période interglaciaire. Cette période est suivie par un refroidissement progressif et l'installation d'une ère glaciaire. À la fin de la glaciation, un réchauffement brutal amorce un nouveau cycle. La Terre est actuellement dans une période interglaciaire et ce, depuis plus de 10 000 ans **[PETIT et al., 1999]**. La figure 1 montre les variations des températures terrestres durant les quatre dernières périodes glaciaires selon les données

issues des carottes glaciaires de l'EPICA et de Vostok. Nous remarquons chaque fois une période interglaciaire qui dure à peu près 10 000 ans où les températures baissent légèrement.

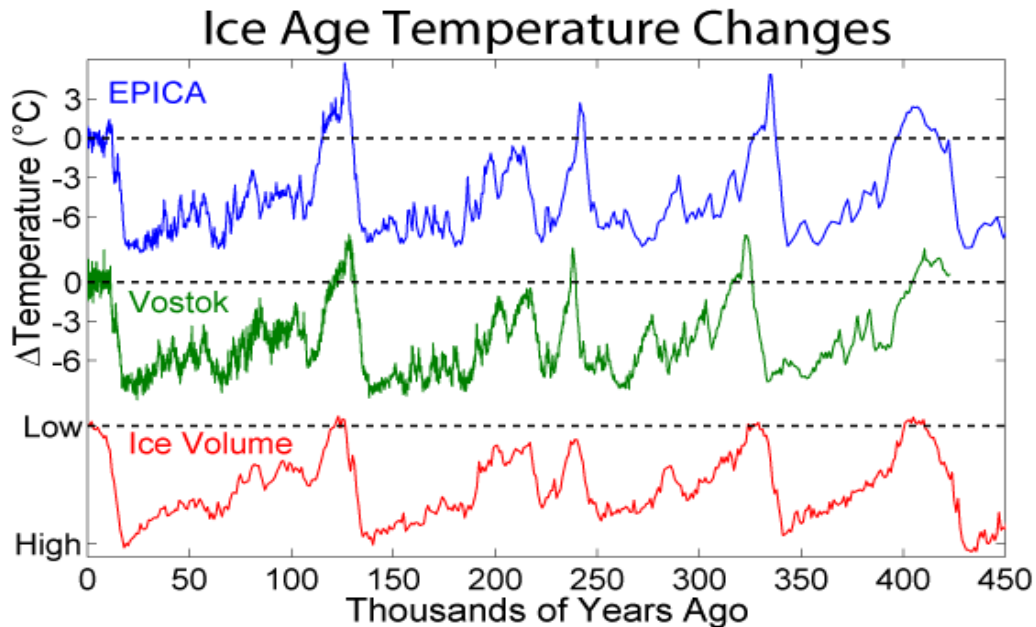


Figure 1: Changements de la température terrestre selon l'âge de la carotte glaciaire

Source : ROHDE, 2006b

Les variations du climat sont corrélées avec celles de l'insolation, des paramètres de Milanković, de l'albédo, des cycles solaires et des concentrations dans l'atmosphère des gaz à effet de serre.

1.1.3. Facteurs physiques influençant la variabilité du climat

1.1.3.1. Insolation

L'insolation est, au sens météorologique du terme, l'exposition d'un objet au rayonnement solaire direct. Cette exposition est correctement révélée par la présence d'ombres portées nettement dessinées. On considère alors que la production de telles ombres est possible lorsque l'éclairement de l'objet par le soleil a une valeur au moins égale à 120 watts/m^2 , ce qui permet de déterminer à chaque instant s'il y a ou non insolation.

1.1.3.2. Paramètres de Milanković

Les paramètres de Milanković ou *cycles de Milanković* correspondent à trois phénomènes astronomiques affectant certaines planètes au moins du système solaire : excentricité, obliquité et précession. La terminologie de « paramètres de Milankovitch » est surtout utilisée dans le cadre de la théorie astronomique des paléoclimats [HAYS et al., 1976].

- **Excentricité :**

La Terre décrit dans l'espace une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers, mais cette ellipse se déforme (d'un aplatissement maximum de 7%) et se déplace dans l'espace (comme si elle oscillait de gauche à droite). En effet, au cours du temps, la distance Terre/Soleil varie entre 129 000 000 et 187 100 000 km. Actuellement, la distance Terre/Soleil admise est de 149 597 870,691 km, soit un aplatissement de 1,67%. L'excentricité est l'un des facteurs les plus importants dans les changements climatiques naturels puisque la Terre au périhélie peut recevoir de 20 à 30% d'énergie (émise par le Soleil) de plus qu'à l'aphélie.

- **Obliquité :**

L'inclinaison terrestre varie entre $21,8^\circ$ et $24,4^\circ$. Actuellement, elle est de $23^\circ 26,5'$. Cette obliquité est due elle aussi aux interactions gravitationnelles

que la Terre subit de la part des planètes. La périodicité de ce phénomène est essentiellement de 41 000 ans. Cette variation est faible : par comparaison, l'obliquité martienne varie entre 20° et 60°. En fait, c'est la présence de la lune qui agit sur le bourrelet équatorial de la terre et lui donne la rapide précession d'Hipparque de 26 000 ans, et de ce fait, la Lune place la Terre pour son obliquité actuelle dans une zone de faible perturbation [**LASKAR et ROBUTEL, 1993**]. Néanmoins, les faibles variations de cette obliquité ont de larges conséquences sur l'insolation à la latitude de 65°, que l'on considère comme le critère le plus fiable de fonte des inlandsis. L'obliquité possède une influence sur les saisons. En effet, si la Terre est dans une période de forte inclinaison par rapport au Soleil, alors les saisons seront très marquées (différences importantes entre été et hiver) et à l'inverse une faible inclinaison homogénéise les saisons (peu de différences entre l'été et l'hiver).

- **Précession :**

La Terre ne tourne pas sur elle-même comme un ballon parfaitement sphérique mais plutôt comme une toupie car elle est soumise à la précession. Cette précession provient du fait que les attractions du Soleil et de la Lune ne sont pas uniformes sur Terre à cause du bourrelet équatorial de la Terre. Ceci a deux conséquences différentes. La première n'a aucune influence sur les changements climatiques. Plus intéressant, la précession des équinoxes n'influence pas directement les changements de température; en fait la précession est responsable de la date du changement de saisons (printemps/été par exemple). Il faut savoir que les saisons sont délimitées par la ligne des solstices et la ligne des équinoxes.

1.1.3.3. Albédo

L'albédo se définit comme étant le rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface sur l'énergie solaire incidente. Il est exprimé par une échelle graduée de 0 à 1, avec 0 correspondant au noir, pour un corps avec aucune réflexion, et 1 au miroir parfait, pour un corps qui diffuse dans toutes les

directions et sans absorption de tout le rayonnement électromagnétique visible qu'il reçoit. Ainsi, il est l'un des indicateurs prévenant de la température de la surface de la terre. C'est un "baromètre" des variations climatiques qui influe sur la connaissance de l'amplitude de l'effet de serre en opposant une rétroaction positive sur la température en surface des océans, en fonction de la variation du volume des glaces.

L'efficacité de la réflexion par la surface terrestre, dépend de la nature de cette surface. Une forêt renvoie ainsi 5% à 15% seulement de la lumière reçue, alors que la mer en réfléchit 30 à 40%, et qu'une étendue neigeuse peut renvoyer jusqu'à 95% du rayonnement incident : ces surfaces ont des « albédos » différents. Globalement, la Terre renvoie ainsi vers l'espace 30% de l'énergie solaire. Le refroidissement d'origine astronomique entraîne une extension des glaces continentales, de l'inlandsis, des glaciers, et donc une augmentation de l'albédo ; la planète réfléchit davantage le rayonnement solaire, en absorbe moins, ce qui amplifie son refroidissement. Le réchauffement a des effets inverses. Ce qui pose problème aujourd'hui, le réchauffement de la planète fait fondre la calotte polaire.

1.1.3.4 Phénomène El Niño/Oscillation Australe (ENSO)

A l'origine, El Niño, est un courant marin chaud qui réchauffe périodiquement les eaux du littoral de l'Equateur et du Pérou. Les eaux froides (de 18 à 20°C) sont remplacées par des eaux beaucoup plus chaudes de 26°C environ [LAING, 1991]. Ce réchauffement des eaux tue dans un premier temps, tous les poissons, ce qui entraîne de nombreuses famines dans les pays littoraux vivant essentiellement de la pêche. Puis dans un second temps, le phénomène est la cause d'un bouleversement climatique entraînant une grande sécheresse dans le nord de l'Amérique du Sud et en particulier au Brésil. Parallèlement à cette sécheresse, des pluies diluviennes s'abattent sur la côte ouest d'Amérique du sud.

Les habitants appellent ce phénomène El Niño (l'enfant Jésus) à cause de son apparition aux environs de Noël. Le phénomène El Niño fait encore

l'objet de nombreuses recherches dans le but de découvrir les causes de ce phénomène marin. Certains scientifiques parlent de la responsabilité des taches solaires, d'autres de l'effet de serre **[Barnston et al., 1999]**.

Ce phénomène est caractérisé par deux signes de variations des courants marins. Le premier signe d'apparition du phénomène est un renforcement considérable des vents du sud est. Ces vents entraînent une accumulation d'eaux chaudes dans le Pacifique ouest. Une élévation du niveau des eaux se fait alors sentir. Mais dès que les vents faiblissent les eaux « chaudes » ; les eaux du Pacifique ouest envahissent celle du Pacifique est, c'est alors le début du phénomène El Niño. Sa durée est en général d'environ 18 mois **[Barnston et al., 1999]**.

Les 18 mois passés des eaux froides se propagent vers l'ouest, c'est alors la fin du phénomène. Les eaux chaudes favorisent l'évaporation ce qui entraînera des pluies diluviennes et des sécheresses sur tout le continent sud Africain et même sur l'Australie. Le phénomène El Niño est d'ampleur mondiale modifiant la répartition des précipitations sur toute la surface du globe. Il est considéré comme une catastrophe climatique, alors qu'il ne détruit rien directement.

1.2. SITUATION ACTUELLE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

1.2.1. Variation globale des températures terrestres

1.2.1.1. Variation de la température à la surface de la Terre

De nombreuses observations indiquent que le climat de la planète a changé au cours du XX^{ème} siècle. La température moyenne globale à la surface (la moyenne de la température de l'air près de la surface du sol et de la température à la surface de la mer) a augmenté depuis 1861 de 0,8°C. Au XX^{ème} siècle, cette augmentation a été de 0,6°C ± 0,2°C **[IPCC, 2001a]**. La couverture neigeuse et les étendues glaciaires se sont réduites et le niveau de la mer s'est élevé de 10 à 20 cm **[IPCC, 2007]**.

Les données obtenues par satellite montrent qu'il est très probable que la couverture neigeuse ait diminué d'environ 10% depuis la fin des années 60,

et des observations au sol indiquent qu'il est très probable qu'il y ait eu une réduction d'environ deux semaines de la durée annuelle du gel des lacs et des cours d'eau sous les latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère Nord **[NASA, 2005]**.

Dans les régions autres que polaires, le recul des glaciers de montagne a été un phénomène largement répandu au XX^{ème} siècle. Depuis les années 50, la surface de glace de mer au printemps et en été, dans l'hémisphère Nord, a diminué d'environ 10 à 15%. Il est probable qu'il y ait eu ces dernières décennies une réduction d'environ 40% de l'épaisseur de glace dans l'océan Arctique de la fin de l'été au début de l'automne, ainsi qu'une réduction nettement plus lente de l'épaisseur des glaces de mer en hiver. Le Kilimandjaro a perdu 82% de son glacier et celui-ci devrait disparaître en 2020 **[IPCC, 2001b]**.

Le cas particulier des glaces du Kilimandjaro, qui a été controversé **[MOTE et KASER, 2007]**, a été remis en question dans le quatrième rapport du **GIEC (2007)**. C'est un bon exemple de la complexité du réchauffement climatique et de la circonspection nécessaire dans l'analyse des données du Kilimandjaro (Photo 1 et 2).

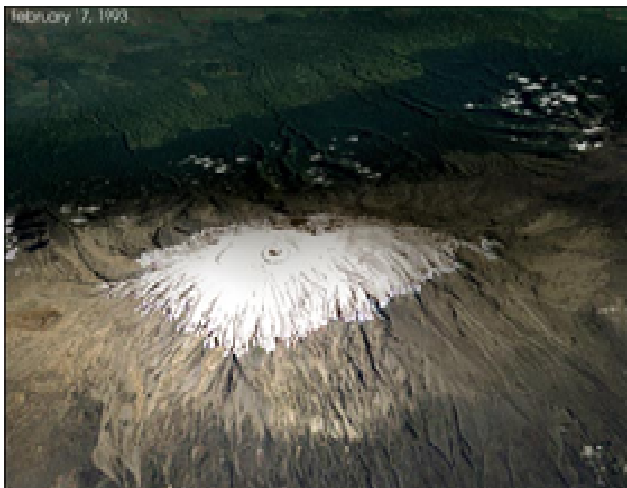


Photo 1: Sommet du mont KILIMANDJARO prise le 17 février 1993



Photo 2: Sommet du Mont KILIMANDJARO prise le 21 février 2000

Photo 1 et 2 : Le changement de l'accumulation des neiges au sommet du mont Kilimandjaro.

Source : NASA, 2005

Cette augmentation de la température s'est produite essentiellement de 1910 à 1945 et de 1976 à 2000. Elle a été plus importante la nuit et à l'intérieur des terres. Globalement, durant les 100 dernières années, il est très probable que les années 90 aient été la décennie la plus chaude [CASTY et al., 2005] et 1998 l'année la plus chaude depuis que l'on tient des relevés, c'est-à-dire depuis 1861 [IPCC, 2001a]. Les précipitations hivernales au nord des Alpes ont crû de 10 à 30% [SCHMIDLI et al., 2002 ; SCHMIDLI et al., 2005], le nombre de jours particulièrement froids a diminué au fil du XX^{ème} siècle [JUNGO et al., 2001] et la durée et l'intensité des périodes de canicule ont augmenté [DELLA-MARTA et al., 2007].

La figure 3 montre que ce soit au cours des 140 ou des 100 dernières années, l'augmentation de la température moyenne globale de surface a été, selon les meilleures estimations, de $0,6 \pm 0,2$ °C.

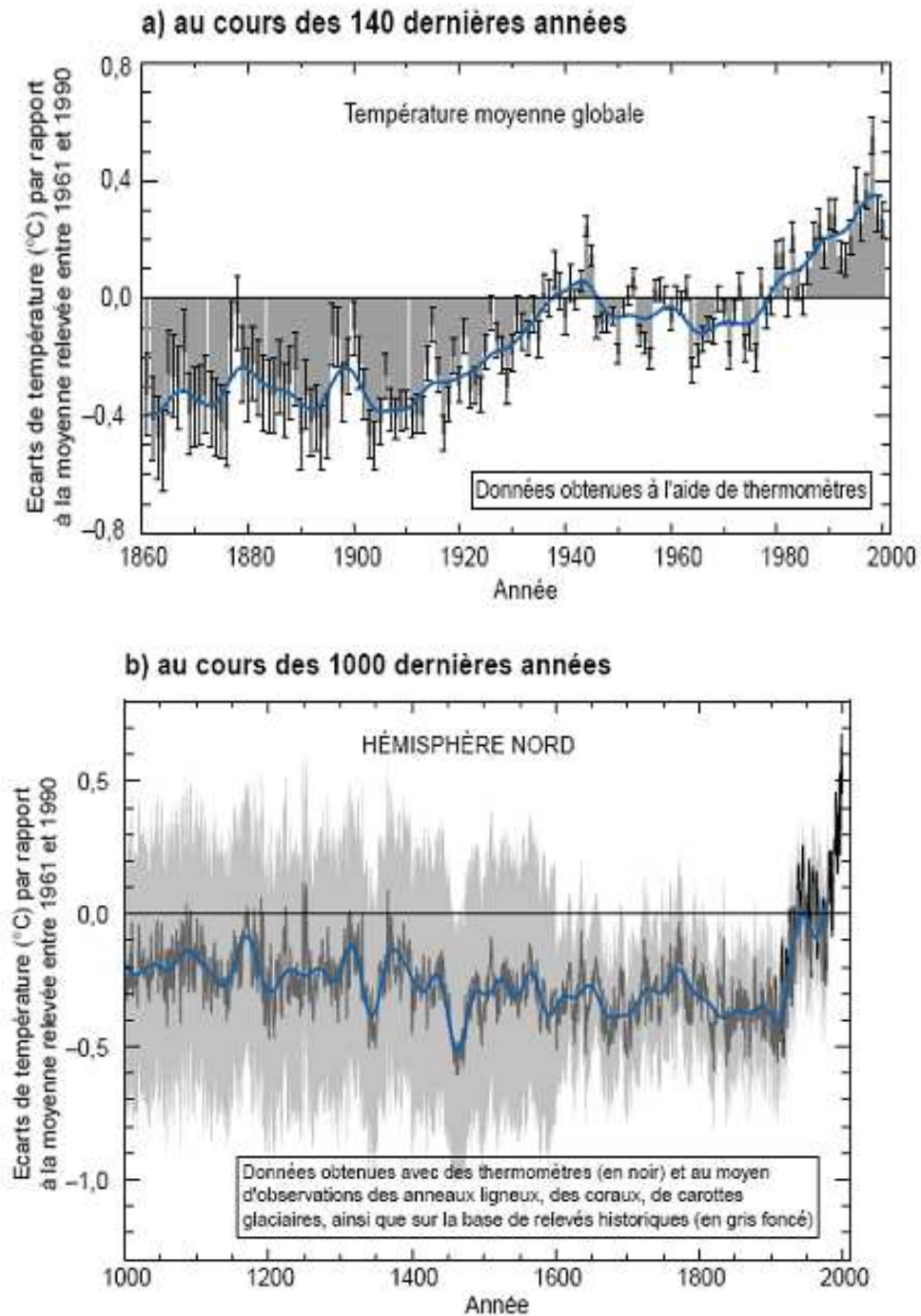


Figure 2: (a) Variations de la température à la surface de la Terre au cours des 140 dernières années et (b) au cours du dernier millénaire

Source: IPCC, 2001a

Il est impossible de prouver, aujourd'hui, que ces modifications constatées au plan régional sont dues à la présence humaine, car la variabilité naturelle du climat (particulièrement l'influence de l'oscillation Nord-Atlantique)

joue un rôle important [WANNER et al., 2001]. L'état actuel des connaissances rend cependant un tel lien plausible.

1.2.1.2. Variation de la température de l'atmosphère

Depuis la fin des années 50 (c'est-à-dire la période au cours de laquelle l'on a commencé à faire des observations plus précises avec des ballons-sondes), la température globale a augmenté en général dans des proportions à peu près identiques (soit $0,1^{\circ}\text{C}$ tous les 10 ans) dans les 8000 mètres les plus bas de l'atmosphère qu'en surface.

Depuis le début des relevés par satellite, en 1979, les mesures par ballons-sondes et par satellite ont toutes montré que la température moyenne globale dans les 8000 mètres les plus bas de l'atmosphère a augmenté de $0,05 \pm 0,10^{\circ}\text{C}$, mais aussi que la température moyenne globale à la surface s'est accrue de manière nettement plus importante, à savoir de $0,15 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$, tous les 10 ans. La différence entre les taux de réchauffement est statistiquement significative. Elle a été avant tout observée dans les régions tropicales et sub-tropicales [IPCC, 2001a].

Les facteurs tels que l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, les aérosols atmosphériques et le phénomène El Niño n'ont pas exercé les mêmes influences sur les 8000 mètres les plus bas de l'atmosphère qu'en surface. Il est par conséquent physiquement plausible qu'il puisse y avoir des disparités dans l'évolution des températures sur une brève période (par exemple 20 ans). De plus, les techniques de l'échantillonnage spatial peuvent elles aussi expliquer en partie certaines des différences observées dans ces évolutions, mais pas toutes [IPCC, 2001a].

1.3. AUTRES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Il est très probable qu'au $\text{XX}^{\text{ème}}$ siècle les précipitations se soient accrues de 0,5 à 1% tous les 10 ans sous la plupart des latitudes moyennes et élevées des continents de l'hémisphère Nord et il est probable que les pluies se soient accrues de 0,2 à 0,3% dans les zones terrestres tropicales (10° Nord

à 10° Sud) [IPCC, 2001a]. Sous les tropiques, ces augmentations n'ont pas été évidentes ces dernières décennies. Il est également probable que les pluies aient diminué dans la plupart des zones terrestres sub-tropicales de l'hémisphère Nord (10° Nord à 30° Nord) au cours du XX^{ème} siècle, et ce, d'environ 0,3% tous les 10 ans. Contrairement à ce qui s'est passé dans l'hémisphère Nord, aucun changement systématique comparable n'a été détecté dans les moyennes générales pour les différentes latitudes dans l'hémisphère Sud. Les données disponibles ne sont pas suffisantes pour déterminer les tendances des précipitations sur les océans [IPCC, 2001a].

Au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, il est probable que sous les latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère Nord, la fréquence des événements de précipitations importantes ait augmenté de 2 à 4%. Cette augmentation peut être due à plusieurs causes, par exemple les changements de l'humidité atmosphérique, l'activité orageuse et les phénomènes dépressionnaires à grande échelle.

Il est probable qu'il y ait eu au XX^{ème} siècle une augmentation de 2% de la couverture nuageuse sur les zones terrestres des latitudes moyennes et élevées. Dans la plupart de ces zones, cette tendance correspond bien à la diminution des écarts de température journaliers, telle qu'elle a été observée. Il est très probable que depuis 1950 il y ait eu une diminution de la fréquence des températures extrêmement basses ainsi qu'une augmentation, plus modeste, de la fréquence des températures extrêmement élevées [IPCC, 2001a].

Les épisodes de réchauffement du phénomène El Niño/oscillation australe (ENSO) (qui affecte régulièrement les variations régionales des précipitations et des températures dans la plupart des zones tropicales et sub-tropicales et dans certaines zones de moyenne latitude) ont été plus fréquents, plus persistants et plus intenses depuis le milieu des années 70 qu'au cours des 100 dernières années [IPCC, 2001a].

Au XX^{ème} siècle (1900 à 1995), l'on a assisté à une augmentation relativement faible des surfaces émergées globales ayant connu une grave

sécheresse ou au contraire des précipitations catastrophiques. Dans de nombreuses régions, ces changements sont dominés par la variabilité interdécennale et multidécennale du climat, telle que la tendance de l'El Niño/SO à provoquer un plus grand nombre d'événements de réchauffement. Dans plusieurs régions, par exemple certaines parties de l'Asie et de l'Afrique, les observations ont montré que la fréquence et l'intensité des sécheresses ont augmenté [IPCC, 2001b].



Photo 3 : Effets du réchauffement climatique : la fonte des glaces aux pôles (ici, en Antarctique) et l'extension des terres soumises à la sécheresse (ici, en Thaïlande).

Source : GAZSI, 2008

Dans d'autres régions, comme en Amérique du Nord et du Centre, la fréquence des ouragans, des pluies torrentielles et des cyclones violents a beaucoup augmenté (figure 3).

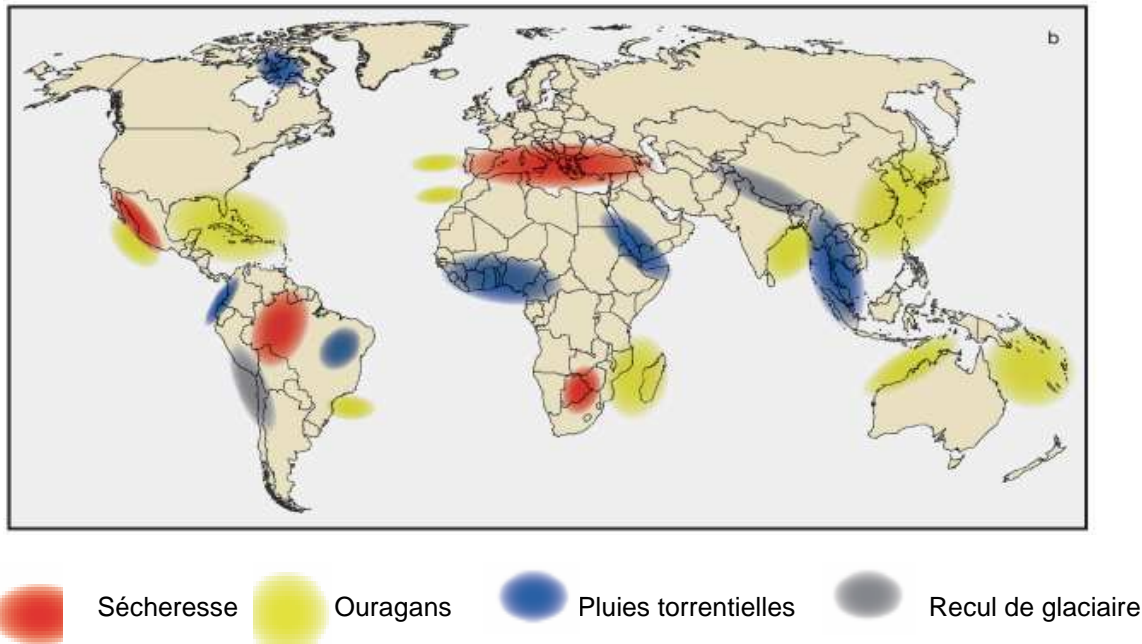


Figure 3: Projections des conditions climatiques extrêmes

Source : SCHUBERT et al., 2007

Le réchauffement climatique actuel est dû à l'amplification de phénomène de l'effet de serre suite à une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

1.4. PHENOMENE DE L'EFFET DE SERRE

L'effet de serre est un processus naturel de réchauffement de l'atmosphère qui intervient dans le bilan radiatif de la Terre. Ce phénomène se produit dans l'atmosphère depuis des milliards d'années par suite de la présence de gaz à effet de serre (GES) d'origine naturelle : vapeur d'eau, gaz carbonique, ozone, méthane et oxyde nitreux. Il s'agit d'un élément indispensable à la vie sur la Terre.

1.4.1. Gaz à effet de serre

Les GES sont des gaz qui contribuent par leurs propriétés physiques à l'effet de serre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est à l'origine du réchauffement climatique. Les principaux gaz à effet de serre non artificiels sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃). Ils

représentent 1% de l'atmosphère et sont responsables de l'élévation de la température de quelques 30°C. Les gaz à effet de serre industriels incluent des gaz fluorés comme :

- les chlorofluorocarbures (CFC) et HCFC-22 comme le fréon,
- le perfluorométhane (CF₄),
- l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Ils sont inscrits à l'annexe 1 du protocole de KYOTO [CCNUCC, 1998]. La figure 4 montre l'évolution de la concentration des gaz à effet de serre supplémentaire par rapport à la référence des années 1750. Il est mesuré en ppm (parties par million) équivalent CO₂. Les concentrations des gaz à effet de serre ont augmenté de 170 ppm en 2000 par rapport en 1750 [BA, 2005].

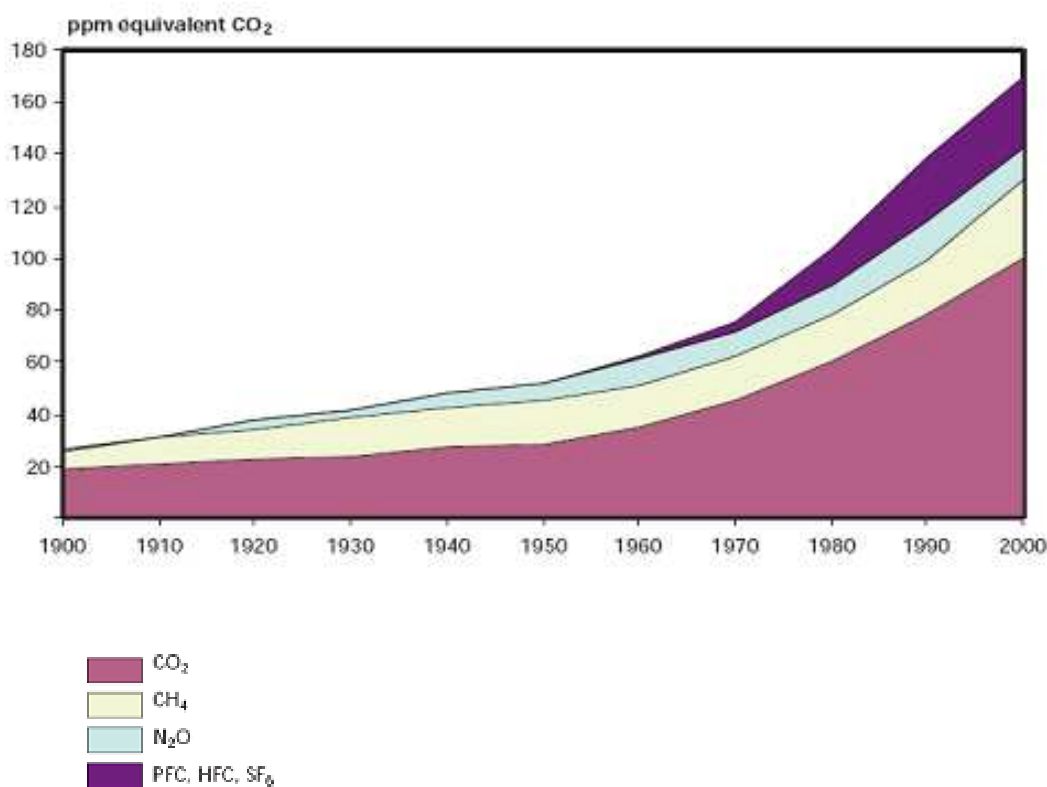


Figure 4: Evolution des concentrations des gaz à effet de serre par rapport à 1750

Source : IPCC, 2001a

Le tableau I montre les concentrations atmosphériques en volume, durée de séjour et le potentiel de réchauffement global (PRG) des principaux gaz à effet de serre.

Tableau I: Concentrations atmosphériques en volume, durée de séjour et potentiel de réchauffement global (PRG) des principaux gaz à effet de serre

gaz à effet de serre	Formule	concentration préindustrielle	concentration actuelle	durée de séjour (ans)	PRG à 100 ans
vapeur d'eau	H ₂ O	3‰	3‰	< 1	s.o.
dioxyde de carbone	CO ₂	278 ppm	383 ppm	200 (variable)	1
Méthane	CH ₄	0,7 ppm	1,7 ppm ¹	12 ± 3	23
Protoxyde d'azote	N ₂ O	0,275 ppm	0,311 ppm	120	310
Dichlorodifluorométhane (CFC-12)	CCl ₂ F ₂	0	0,503 ppb	102	6200 - 7100
Chlorodifluorométhane (HCFC-22)	CHClF ₂	0	0,105 ppb ²	12,1	1300 - 1400
tétrafluorure de carbone	CF ₄	0	0,070 ppb	50 000	6 500
hexafluorure de soufre	SF ₆	0	0,032 ppb	3 200	23 900

Source: WRI, 2005; PRG: IPCC, 2001a; CO₂: NOAA, 2006

Le Potentiel de réchauffement global (PRG) mesure combien une masse donnée d'un gaz à effet de serre est estimée pouvoir contribuer au réchauffement global. C'est une échelle relative comparant le gaz en question à une masse identique de dioxyde de carbone lequel possède, par définition, un PRG de 1. Un PRG est calculé en fonction d'un intervalle de temps précis et il est important de mentionner la longueur de cet intervalle lorsque le PRG est cité, sans quoi sa valeur est dénuée de sens.

Le PRG est défini, selon le **GIEC (1990)**, comme étant le rapport entre, d'une part, le forçage radiatif intégré en fonction du temps d'une émission instantanée de 1 kg du gaz étudié (x), et d'autre part, celui d'un 1 kg du gaz de référence :

$$PRG(x) = \frac{\int_0^{TH} a_x(t) \cdot [x(t)] dt}{\int_0^{TH} a_r(t) \cdot [r(t)] dt}$$

¹ Parties pour million

² Parties pour billion

- TH est l'horizon temporel au cours duquel le calcul est considéré ;
- $a_x(t)$ est l'efficacité radiative, causée par l'augmentation d'une unité du gaz dans l'atmosphère (en Watt m⁻² kg⁻¹) ;
- $[x(t)]$ est la dégradation en fonction du temps du gaz en question suite à son émission instantanée à t=0.
- Le dénominateur contient les valeurs correspondantes pour le gaz de référence (r), en l'occurrence ici, le CO₂.
- L'efficacité radiative pour un gaz donné, $a_x(t)$ ou $a_r(t)$, n'est pas nécessairement constante dans le temps.

1.4.2. Rayonnement du corps noir

Tout corps chauffé émet un rayonnement. Celui-ci peut être visible, comme lorsqu'un morceau de fer est chauffé à blanc, ou invisible, comme dans le cas de notre propre corps qui est à une température de 37°C. Certaines caméras permettent de voir "dans le noir" les individus car elles sont sensibles à la lumière infrarouge (dont la longueur d'onde est comprise entre 0.8 µm et 1 µm) ; cette lumière correspond précisément au rayonnement émis par des corps chauffés à des températures allant de quelques degrés à quelques dizaines de degrés. La Terre, chauffée par le Soleil, émet précisément un rayonnement infrarouge, qui permet renvoyer vers l'espace une partie de l'énergie reçue du Soleil.

1.4.3. Mécanisme de l'effet de serre

Les éléments les plus abondants de notre atmosphère, oxygène et azote (99% des gaz atmosphériques à eux deux), sont transparents au rayonnement infrarouge émis par la Terre. En revanche, d'autres gaz atmosphériques, moins abondants, l'absorbent et le réémettent dans toutes les directions, y compris vers la surface terrestre ; ceci contribue à « piéger » de l'énergie dans l'atmosphère (figure 5).

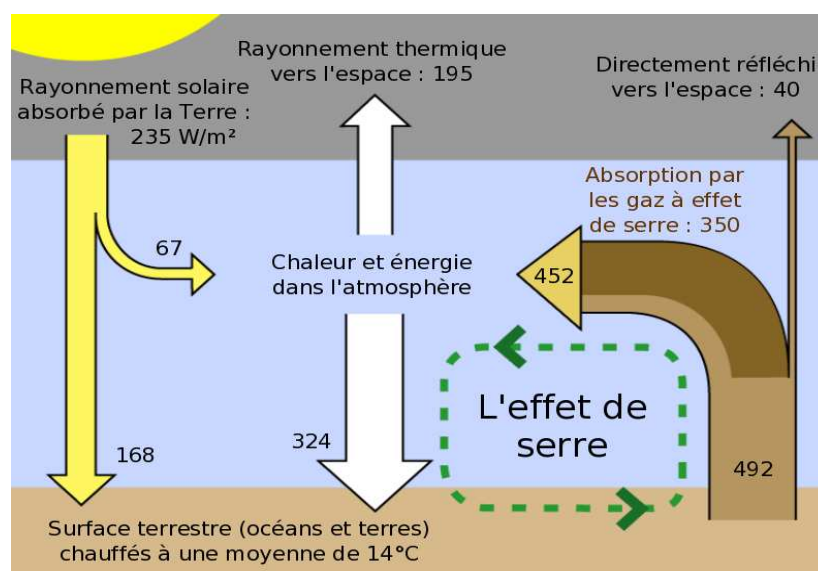


Figure 5: Mécanisme de l'effet de serre

Source : ROHDE, 2006a

Lorsque le rayonnement solaire atteint l'atmosphère terrestre, une partie (environ 28,3 %) est directement réfléchi (renvoyée vers l'espace), par l'air, les nuages blancs et la surface claire de la Terre (en particulier les régions blanches et glacées comme l'Arctique et l'Antarctique). Les rayons incidents qui n'ont pas été réfléchis vers l'espace sont absorbés par l'atmosphère (20,7 %) et/ou la surface terrestre (51 %).

Cette dernière partie du rayonnement absorbée par la surface du sol lui apporte de la chaleur (énergie), qu'elle restitue à son tour, le jour comme la nuit, en direction de l'atmosphère sous forme de rayons infrarouges. C'est le « rayonnement du corps noir ». Ce rayonnement est alors absorbé en partie par les gaz à effet de serre, ce qui réchauffe l'atmosphère. Puis dans un troisième temps, cette chaleur est réémise dans toutes les directions, notamment vers la Terre. C'est ce rayonnement qui retourne vers la Terre qui constitue l'effet de serre, il est à l'origine d'un apport supplémentaire de chaleur à la surface terrestre. Sans ce phénomène, la température moyenne sur Terre chuterait d'abord à -18°C . Puis, la glace s'étendant sur le globe, l'albédo terrestre augmenterait et la température se stabiliserait vraisemblablement à -100°C .

En moyenne, l'énergie venue de l'espace et reçue par la Terre, et l'énergie de la Terre émise vers l'espace sont quasiment égales. Si ce n'était pas le cas, la température de surface de la Terre augmenterait sans cesse ou diminuerait sans cesse. En effet, si les échanges moyens d'énergie avec l'espace ne sont pas équilibrés, il y aura un stockage ou un déstockage d'énergie par la Terre. Ce déséquilibre provoque alors un changement de température de l'atmosphère. Le forçage radiatif dû aux augmentations des gaz à effet de serre entre 1750 et 2000 est estimé, avec un bon niveau de confiance, à environ 2,5 Watts/m² : 1,5 Watts/m² dû au CO₂ ; 0,5 Watt/m² dû au CH₄ ; 0,3 Watt/m² dû aux gaz halocarbonés ; et 0,2 Watt/m² dû au N₂O. Les autres effets sont nettement moins bien connus [IPCC, 2001a].

La figure 6 illustre le forçage radiatif des différents gaz à effet de serre. Les rectangles représentent les valeurs les plus probables, les tirets la zone d'incertitude. Si le forçage radiatif de l'effet de serre est bien connu, le rôle des aérosols et de l'ozone troposphérique reste mal apprécié.

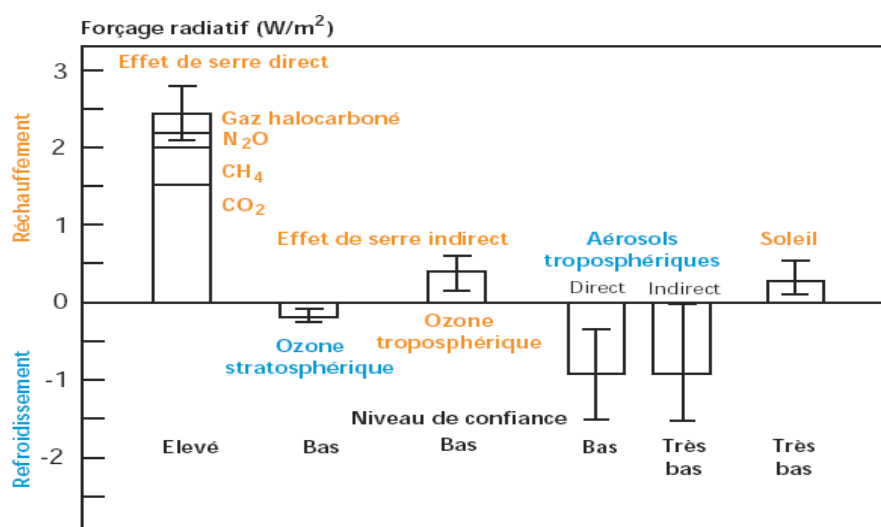


Figure 6: Forçage radiatif en 2000 par rapport en 1750

Source : IPCC, 2001a

Toute modification du bilan radiatif de la Terre, notamment par suite de l'augmentation des gaz à effet de serre ou des aérosols, influera sur le cycle

hydrologique et les circulations atmosphériques et océaniques à l'échelle du globe. Cela ne manquera pas d'avoir des répercussions sur les conditions météorologiques ainsi que sur les régimes régionaux de la température et des précipitations **[IPCC, 2001a]**.

En résumé, les changements climatiques actuels sont des variations du climat dues à la modification de la composition atmosphérique mondiale à l'origine de l'amplification du phénomène de l'effet de serre. Certains facteurs physiques (insolation, albédo, paramètres de Milanković, phénomène El Niño) passés en revue, jouent un rôle naturel dans la fluctuation des températures terrestres, mais le rôle des gaz à effet de serre dont le gaz carbonique atmosphérique est le plus important. Ainsi nous a-t-il paru intéressant de faire une synthèse générale des conséquences des changements climatiques sur l'environnement.

CHAPITRE II. CONSEQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT, VULNERABILITE ET ADAPTATION

Les changements climatiques anthropiques sont récemment devenus un fait bien établi et leur impact sur l'environnement est d'ores et déjà observable [STEINFELD et al., 2006]. Selon différents scénarios d'émission, la température moyenne mondiale devrait augmenter d'environ 0,2°C par décennie au cours des deux prochaines décennies [IPCC, 2001a]. Les études antérieures prévoient un réchauffement de 0,15 à 0,3°C par décennie entre 1990 et 2005 [IPCC, 1990].

Même si les concentrations de tous les gaz à effet de serre et aérosols étaient restées à leurs niveaux de l'an 2000, un réchauffement supplémentaire d'environ 0,1°C par décennie serait à prévoir, en raison principalement de la période nécessaire aux océans pour libérer la chaleur qu'ils ont accumulée. Si les émissions de gaz à effet de serre devaient se poursuivre à leur rythme actuel ou augmenter, elles aggraveraient le phénomène de réchauffement et engendreraient au cours du XXI^{ème} siècle de nombreux autres changements dans le système climatique de la planète, changements qui seraient très probablement plus importants que ceux observés au cours du XX^{ème} siècle. De plus, le réchauffement tend à réduire la capacité d'absorption de CO₂ atmosphérique par les terres et les océans, et donc à augmenter la quantité d'émissions d'origine humaine demeurant dans l'atmosphère [IPCC, 2001b].

En effet, les estimations les plus fiables de réchauffement de l'air à la surface de la Terre entre 1980 et 2090 prévoient une variation de température allant de 1,8°C (probablement entre 1,1°C et 2,9°C) à 4,0°C (probablement entre 2,4°C et 6,4°C). Les incertitudes proviennent des différences de modèles et de scénarios de consommation d'énergie utilisés [IPCC, 2007].

Après avoir défini les notions de la sensibilité, de la capacité d'adaptation et de la vulnérabilité, nous allons décrire les conséquences des changements climatiques par zone géographique.

2.1. NOTION DE SENSIBILITE, DE CAPACITE D'ADAPTATION ET DE VULNERABILITE

- **Sensibilité :**

C'est la proportion dans laquelle un système est influencé, favorablement ou défavorablement, par des stimuli liés au climat. Ces stimuli englobent tous les éléments liés aux changements climatiques, dont les caractéristiques climatiques moyennes, la variabilité du climat, la fréquence et l'ampleur des extrêmes. Les effets peuvent être directs (par exemple une modification des rendements agricoles due à un changement de la valeur moyenne, de l'amplitude ou de la variabilité de la température) ou indirects (par exemple des dommages causés par la fréquence accrue des inondations de zones côtières dues à l'élévation du niveau de la mer).

- **Capacité d'adaptation**

C'est la capacité d'un système de s'adapter aux changements climatiques (notamment à la variabilité du climat et aux phénomènes extrêmes), de façon à atténuer les dommages potentiels, à tirer parti des possibilités offertes et à faire face aux conséquences.

- **Vulnérabilité :**

Elle peut être définie comme étant le potentiel de perte associé aux populations humaines et à ce qu'elles considèrent comme précieux [MITCHELL, 2001]. Dans le contexte de phénomènes naturels dangereux, la vulnérabilité inclut les notions corrélées d'exposition, de résistance et de résilience. En d'autres termes, la vulnérabilité se définit comme la capacité à la fois de subir un phénomène dangereux, d'en réduire les effets et de se remettre des pertes subies. Les populations associant une forte exposition au risque, un faible niveau de résistance et une faible résilience sont les plus vulnérables face aux phénomènes dangereux. Selon le **GIEC, (2001b)** la vulnérabilité est la mesure dans laquelle un système est sensible – ou incapable de faire face – aux effets défavorables des changements

climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation.

2.2. CONSEQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES PAR ZONE GEOGRAPHIQUE

2.2.1. Asie

Les changements climatiques imposeront un stress important sur les ressources dans toute la région. L'Asie compte plus de 60% de la population mondiale; ses ressources naturelles subissent déjà de fortes contraintes et la résistance aux changements climatiques dans la plupart des secteurs est faible. De nombreux pays dépendent d'un point de vue socio-économique de ressources comme l'eau, les forêts, les prairies, les pâturages et la pêche. L'ampleur des modifications des variables climatiques pourrait varier de façon importante d'une sous région et d'un pays à l'autre. La sensibilité aux changements climatiques de quelques secteurs vulnérables et les effets de ces limites sont présentés dans le tableau II.

L'insécurité alimentaire semble être la principale préoccupation de l'Asie. Les récoltes et l'aquaculture seraient menacées par les stress thermiques et hydriques, l'élévation du niveau de la mer, l'augmentation des inondations et les vents forts associés aux cyclones tropicaux intenses.

En général, on prévoit que les zones situées sous des latitudes moyennes et élevées connaîtront une augmentation de la production agricole; les récoltes dans les latitudes basses diminueront dans l'ensemble. La durée plus longue de la saison estivale devrait entraîner un déplacement vers le nord des limites de l'agro-écosystème en Asie boréale et favoriser une augmentation générale de la productivité agricole.

Tableau II: Sensibilité de certaines régions asiatiques aux changements climatiques.

Changements dans les éléments climatiques et élévation du niveau de la mer	Région vulnérable	Principaux changements	Impacts	
			Primaires	Secondaires
0,5-2°C (élévation du niveau de la mer 10-45 cm)	Sundarbans du Bangladesh	- inondations, environ 15 % (~ 750 km ²) - augmentation de la salinité des sols	perte d'espèces végétales - perte d'espèces fauniques	-perte économique - accentuation de l'insécurité et des pertes d'emplois
4°C (pluviosité + 10%)	Pergélisols sibériens	- réduction du pergélisol continu -déplacement de la limite sud du pergélisol sibérien d'environ 100 à 200 km vers le nord	- modification de la solidité des roches - changement de capacité de support - changement de compressibilité des roches gelées -érosion thermique	- effets sur le secteur de la construction - effets sur le secteur minier -effets sur le développement agricole
>3°C (pluviosité > + 20 %)	Ressources en eau du Kazakhstan	- modification de l'écoulement	-augmentation des inondations hivernales -baisse des débits estivaux	- risques pour la vie et les biens - stress hydrique estival
~2°C (pluviosité -5 à 10%; élévation du niveau de la mer 45 cm)	Basses terres du Bangladesh	- augmentation d'environ 23-29% de l'étendue des inondations	- modification de catégorie de profondeur des inondations - modification de configuration des récoltes de riz pendant la mousson	- risque pour la vie et les biens - augmentation des problèmes sanitaires - réduction des récoltes de riz

Source : IPCC, 2001b

La variabilité et les changements climatiques affecteront le calendrier des récoltes ainsi que la durée de la période de croissance des cultures [GIEC, 1998]. En Chine, le rendement de certaines cultures importantes devrait baisser en raison des changements climatiques. De grandes pénuries d'eau, associées au stress thermique, auront des effets néfastes sur le blé, et encore plus sur la productivité du riz en Inde, malgré l'incidence positive de

l'augmentation du CO₂. Les maladies des cultures comme la gale du blé, la piriculariose et la rouille du riz, pourraient être plus répandues dans les régions tempérées et tropicales de l'Asie si le climat devenait plus chaud et plus humide.

2.2.1.1. Mesures d'adaptation

Les mesures d'adaptation qui visent à réduire les effets néfastes de la variabilité climatique pourraient inclure le changement du calendrier des récoltes afin de profiter de la période des pluies et d'éviter les phénomènes météorologiques extrêmes (typhons, vents forts, etc.) pendant la saison de croissance [IPCC, 2001b].

L'Asie domine l'aquaculture mondiale et produit 80% de tous les poissons, crevettes, crustacés et coquillages d'élevage. De nombreux stocks sauvages subissent du stress en raison de la surexploitation, de la pêche au chalut dans les habitats des fonds marins, du développement du littoral et de la pollution causée par les activités terrestres. De plus, la productivité marine est très affectée par les déplacements du plancton, comme les mouvements saisonniers des sardines dans la Mer du Japon, en réaction aux changements climatiques causés pendant les épisodes El Niño/ Oscillation australe (ENSO).

Les ondes de tempêtes et les conditions cycloniques frappent régulièrement le littoral et ajoutent des sédiments aux eaux côtières. La conservation et la gestion durable de la pêche intérieure et en mer sont nécessaires à l'échelle régionale afin que les ressources aquatiques vivantes puissent continuer à satisfaire leurs besoins nutritionnels aux niveaux régional et national. Les changements climatiques pourraient accentuer les menaces que font actuellement peser sur la diversité biologique la modification de l'affectation et de la couverture des terres ainsi que la pression démographique. Les risques touchant la grande diversité d'espèces en Asie s'accroissent [NAKICENOVIC et al., 2000].

2.2.2. Australie et Nouvelle Zélande

La région Australie/Nouvelle-Zélande couvre les tropiques jusqu'aux latitudes moyennes et possède des climats et des écosystèmes variés, à savoir des déserts, des forêts pluviales, des récifs coralliens et des zones alpines. Le climat est vivement influencé par les océans environnants. L'Australie sera très vulnérable à l'assèchement prévu pour la plus grande partie du pays dans les 50 à 100 prochaines années parce que de grandes zones agricoles sont actuellement fortement affectées par des sécheresses périodiques. Il existe déjà des terres arides et semi-arides étendues.

La Nouvelle-Zélande, qui est un pays plus montagneux et dont le climat est généralement plus tempéré et maritime, pourrait mieux résister aux changements climatiques que l'Australie, bien qu'une vulnérabilité considérable demeure.

Les phénomènes extrêmes ont actuellement une incidence majeure; les changements touchant ces phénomènes devraient dominer les effets des changements climatiques. Les périodes de retour des pluies abondantes, des inondations et des ondes de tempête, d'une ampleur donnée et dans des sites particuliers, seraient modifiées par des augmentations possibles de l'intensité des cyclones tropicaux et des pluies abondantes ainsi que des changements de fréquence des cyclones liés à des lieux spécifiques. Les scénarios des changements climatiques qui sont basés sur des modèles couplés océan - atmosphère récents indiquent que de grandes régions d'Australie connaîtront une diminution importante des précipitations au cours du XXI^{ème} siècle. Le phénomène ENSO entraîne des inondations et des sécheresses prolongées, particulièrement à l'intérieur de l'Australie et dans certaines parties de la Nouvelle-Zélande. La région serait sensible à une évolution vers un état moyen ressemblant davantage à El Niño [GIEC, 1998].

Les changements climatiques s'ajouteront aux stress actuels touchant l'utilisation durable des terres et la conservation de la diversité biologique terrestre et aquatique. Ces stress comprennent l'invasion d'espèces exotiques animales et végétales, la dégradation et le morcellement des écosystèmes

naturels par le développement urbain et agricole, la salinisation des terres arides (Australie), la suppression de la couverture forestière (Australie et Nouvelle-Zélande) et la concurrence pour les rares ressources en eau **[GIEC, 1998]**.

2.2.2.1. Mesures d'adaptation

Les principales options d'adaptation comprennent notamment :

- l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de bons mécanismes d'échange pour l'eau;
- des politiques d'utilisation des terres plus appropriées;
- la fourniture de prévisions saisonnières et d'informations climatiques aux utilisateurs des terres pour les aider à gérer la variabilité et les changements climatiques;
- de meilleurs cultivars;
- la révision des normes techniques et du zonage pour le développement de l'infrastructure;
- et enfin l'amélioration des services de santé et de sécurité biologique **[IPCC, 2001b]**.

2.2.3. En Europe

Les conditions météorologiques actuelles affectent les systèmes naturels, sociaux et économiques européens sous des aspects qui révèlent des sensibilités et des vulnérabilités aux changements climatiques.

Les changements climatiques pourraient aggraver ces effets. La vulnérabilité aux changements climatiques en Europe diffère de façon importante d'une sous-région à l'autre. L'Europe méridionale et l'Europe arctique sont plus vulnérables que d'autres parties de l'Europe. Certaines zones plus marginales ou moins riches s'adapteront moins facilement, ce qui entraîne des conséquences importantes sur le plan de l'équité **[IPCC, 2001b]**.

Les écosystèmes naturels changeront en raison des hausses de températures et de concentrations atmosphériques de CO₂. Le pergélisol

diminuera, les arbres et les arbustes envahiront la toundra du nord; et les feuillus pourraient gagner du terrain dans les zones de conifères actuelles. La productivité primaire nette des écosystèmes va sans doute augmenter (en raison du dépôt d'azote), mais la hausse de la décomposition provoquée par les élévations de températures pourrait empêcher tout stockage supplémentaire de carbone. La diversité des réserves naturelles est menacée par les changements rapides. Les pertes d'habitats importants (terres humides, Toundra et habitats isolés) pourraient mettre en péril certaines espèces y compris des espèces rares/endémiques et des oiseaux migrateurs. Des déplacements d'animaux dus à la modification du milieu naturel sont prévus dans les écosystèmes marins, aquatiques et terrestres. Les rendements agricoles vont augmenter dans la plupart des cultures en raison de la hausse des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère. Les changements climatiques affectant la productivité aquicole et le secteur de la pêche entraîneront des déplacements fauniques touchant les poissons marins et d'eau douce et la diversité biologique des crustacés et coquillages. Ces changements seront aggravés par des niveaux d'exploitation non durables et par des modifications de l'environnement [GIEC, 1998].

Un ensemble de risques menacent la santé humaine à cause de l'exposition accrue aux vagues de chaleur (accentuées par la pollution atmosphérique dans les villes), à certaines maladies à transmission vectorielle et aux inondations côtières ou fluviales [IPCC, 2001b].

2.2.3.1. Mesures d'adaptation

Le potentiel d'adaptation des systèmes socio-économiques en Europe est relativement élevé grâce à la situation économique (PNB élevé et croissance stable), à la stabilité de la population (qui a la capacité de se déplacer à l'intérieur d'une même région) et aux systèmes de soutien politiques, institutionnels et technologiques bien développés. Il est toutefois généralement bas dans le cas des systèmes naturels [IPCC, 2001b].

2.2.4. Amérique du Sud

La variabilité climatique a été amplement observée partout en Amérique latine à une échelle de temps très étendue (intrasaisonnière à long terme). Dans de nombreuses sous-régions, cette variabilité est habituellement associée à des phénomènes qui produisent déjà des effets avec d'importantes conséquences socioéconomiques et environnementales qui pourraient être accentuées par le réchauffement mondial et les changements climatiques et météorologiques associés. Les variations de précipitations ont un effet important sur l'écoulement et les débits fluviaux, qui sont affectés simultanément par la fonte des glaciers et de la neige. Ces variations et leurs manifestations dépendent de la sous-région géographique examinée. En Amérique latine, les températures varient aussi d'une sous-région à l'autre. Bien que celles-ci peuvent dépendre de l'origine et de la qualité des données ainsi que des périodes de relevés utilisées pour les études et les analyses, certaines pourraient être attribuées à une condition de changement climatique.

Le phénomène ENSO est responsable d'une grande partie de la variabilité climatique aux échelles interannuelles en Amérique latine. La région est vulnérable à El Niño, avec des effets qui varient dans tout le continent. Par exemple, El Niño est associé aux conditions sèches qui sévissent dans le nord-est du Brésil, le nord de l'Amazonie, l'Altiplano péruvien et bolivien et la côte pacifique de l'Amérique centrale. Au Mexique, les sécheresses les plus graves des dernières décennies ont eu lieu pendant les années El Niño, tandis que le sud du Brésil et le nord-ouest du Pérou ont connu des conditions anormalement humides **[BORNSTON et al., 1999]**. El Niño est associé à de fortes précipitations et à des inondations en Colombie, mais aussi à la sécheresse dans le sud du Brésil. Si les phénomènes El Niño devaient s'intensifier, l'Amérique latine serait exposée plus souvent à ces conditions **[GIEC, 1998]**.

Il est bien établi que l'Amérique latine représente l'une des plus importantes concentrations de diversité biologique du globe et que l'incidence des changements climatiques va sans doute augmenter le risque de réduction

de cette diversité biologique. La diminution du nombre de grenouilles et de petits mammifères en Amérique centrale peut être associée à des changements climatiques régionaux. Ce qui reste de la forêt amazonienne est menacé par la combinaison de perturbations d'origine humaine, l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des incendies, et les baisses de précipitations dues à des pertes par évapotranspiration, au réchauffement du globe et à El Niño. En Méso-Amérique, les forêts néo-tropicales à sécheresse saisonnière devraient être considérées comme très menacées **[IPCC, 2001b]**.

2.2.5. Amérique du Nord

L'Amérique du Nord sera soumise à des effets climatiques à la fois bénéfiques et néfastes. Les répercussions variées sur les écosystèmes et les établissements humains accentueront les différences sous-régionales au niveau de la production de ressources sensibles au climat ainsi que de la vulnérabilité aux événements extrêmes.

On observera des opportunités et des défis à l'adaptation, comportant fréquemment de multiples stress. Certaines stratégies d'adaptation novatrices sont mises à l'épreuve en réaction aux défis actuels liés au climat (banques de l'eau, par exemple), mais on a peu étudié comment ces stratégies pourraient être mises en œuvre alors que les climats régionaux continuent à se modifier. La modification des régimes de températures, de précipitations, de vecteurs de maladies et de disponibilité des ressources en eau nécessitera des mesures d'adaptation, notamment des investissements dans l'infrastructure de protection contre les tempêtes et d'approvisionnement en eau, ainsi que dans les services de santé communautaires.

Les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer affecteront les modifications de composition des espèces et la concurrence. On estime qu'une plante menacée sur trois est une plante endémique insulaire tandis que 23% des espèces d'oiseaux vivant dans les îles sont menacées **[IPCC, 2001b]**.

2.2.6. Afrique

L'Afrique est très vulnérable aux changements climatiques [GIEC, 1998]. Cette vulnérabilité n'est pas due seulement aux changements climatiques. C'est une combinaison des facteurs socio-économiques et d'autres facteurs environnementaux qui interagissent avec les changements climatiques [NKOMO et al., 2006]. Le continent abrite en 2002 quelques 832 millions d'habitants, contre un peu plus de 812 millions un an auparavant. Soit une augmentation de près de 20 millions de personnes qui équivaut au taux d'accroissement le plus élevé de la planète : 2,3%, contre 1,3% pour l'Asie et 1,4 % pour l'Amérique Latine [FNUAP, 2002]. Elle abrite également plus de 214 millions de bovins, 438 millions d'ovins et de caprins, 16 millions de porcs, 1 milliards de volailles [DORINA, 2002], et une très grande biodiversité avec de nombreux animaux sauvages. Ce qui fait que l'Afrique reste préoccupé par l'incidence liée aux ressources en eau, à la production alimentaire, à la santé humaine, à la désertification et aux zones côtières, particulièrement en rapport avec les évènements extrêmes tels que les inondations, la sécheresse, etc. Une synergie entre les changements de l'utilisation des terres et l'évolution du climat accentuera la désertification [GIEC, 1998].

Cependant, les ressources en eau présentent une grande vulnérabilité qui touche l'approvisionnement pour les besoins de l'agriculture et de l'élevage. En Afrique de l'Ouest subsaharienne, il y a eu des réductions de débits fluviaux dans les deux dernières décennies. On observe aussi la dégradation de la qualité de l'eau. Ceux-ci représentent des menaces importantes pour la sécurité des ressources hydriques dans de nombreuses parties du continent. Le réchauffement climatique de la planète devrait probablement accentuer les pénuries dans les régions subhumides [IPCC, 2001b].

D'autre part, la zone équatoriale et les régions côtières de l'est et du sud sont humides. Le reste du territoire est semi-aride ou aride. L'effet du réchauffement de la planète consistera en une réduction de l'humidité du sol

dans les zones subhumides et en une diminution de l'écoulement. La figure 7 montre l'impact des changements climatiques en Afrique.

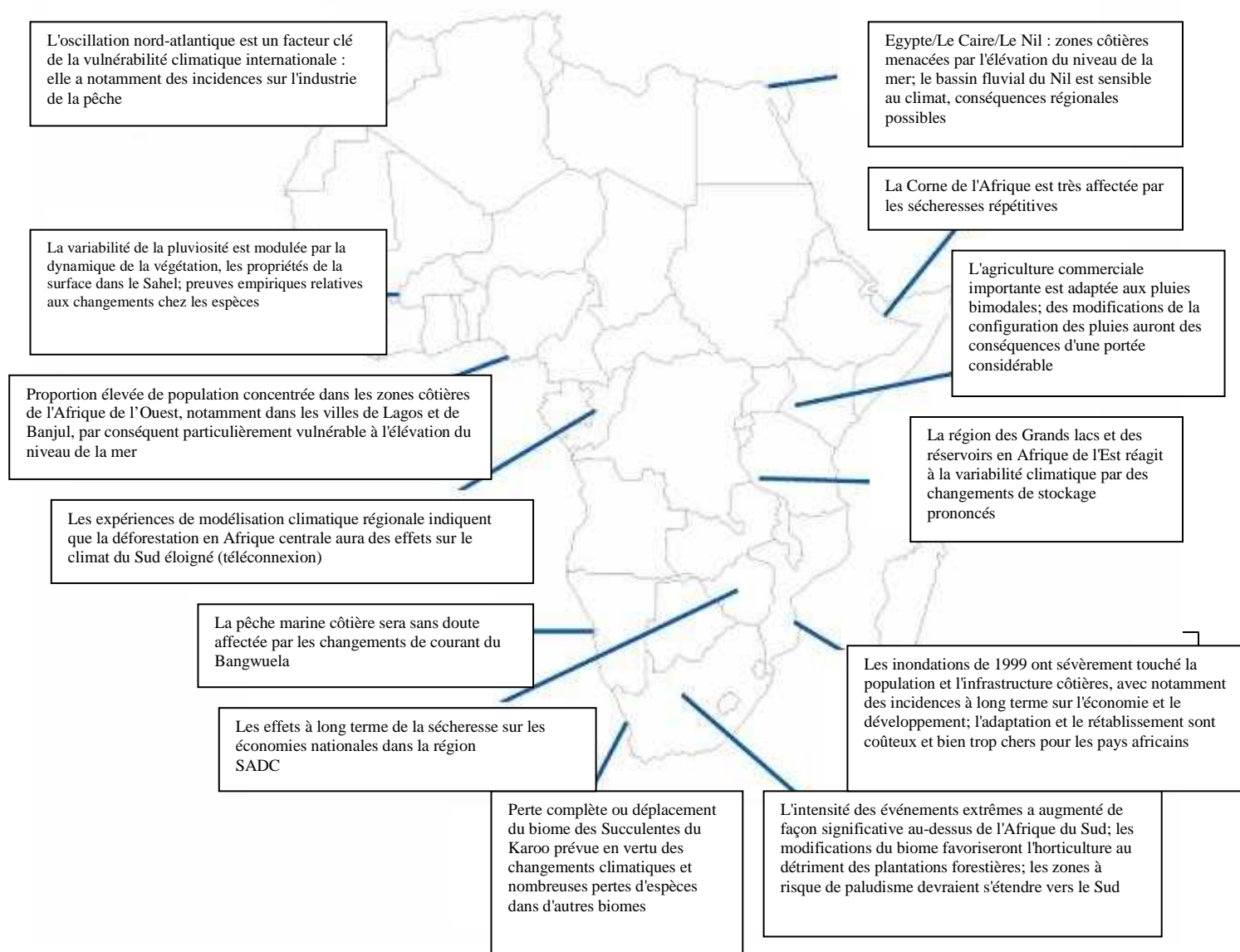


Figure 7: Sélection des effets clés en Afrique

Source : IPCC, 2001b

La sécurité alimentaire sera menacée surtout avec l'augmentation des phénomènes extrêmes et des décalages spatio-temporels. La baisse de l'humidité dans le sol et la déforestation constitueront une pression supplémentaire qui risque de provoquer une forte baisse de production des céréales et des fourrages entraînant un manque d'aliments pour le bétail. La pêche dans les eaux intérieures et en mer procure une part importante des

protéines consommées dans de nombreux pays. En raison du stress hydrique et de la dégradation des terres, la pêche intérieure sera plus sensible aux sécheresses épisodiques et à la destruction de l'habitat **[ZINYOWERA et al., 2001]**.

Les réductions irréversibles de la diversité biologique pourraient être accélérées par les changements climatiques. On s'attend à ce que les changements climatiques entraînent des déplacements importants de biomes riches en diversité biologique, et de nombreuses pertes d'espèces dans d'autres biomes. Les changements dans la fréquence, l'intensité et l'ampleur des incendies du couvert végétal et les modifications d'habitat imputables aux changements d'affectation des terres pourraient enrayer les processus naturels d'adaptation et provoquer des extinctions.

L'augmentation des précipitations pourrait provoquer de plus fréquentes apparitions de la fièvre de la vallée du Rift et de plusieurs maladies à transmission vectorielle (Trypanosomose due à un protozoaire *Trypanosoma* sp, Peste Equine due à un *Orbivirus*,...) **[ZINYOWERA et al., 2001]**.

Les modifications des configurations spatio-temporelles des températures, des précipitations, des rayonnements solaires et des vents attribuables à l'évolution du climat accentueront la désertification. Cette dernière représente une grande menace pour la gestion durable des ressources dans les régions arides, semi-arides et subhumides sèches de l'Afrique, et met en péril la sécurité alimentaire et des approvisionnements en eau.

Pour certains auteurs, au cours des dernières années, l'attention du public a été attirée sur la possibilité que les futures guerres soient disputées pour les ressources naturelles de plus en plus rares **[KLARE, 2001 ; RENNER, 2002]**. Le Pentagone dans son rapport **[SCHWARTZ et RANDALL, 2003]** suggère que le réchauffement climatique pourrait s'avérer comme un plus grand risque pour le monde comme le terrorisme et pourrait conduire à des sécheresses catastrophiques, des famines et des émeutes.

En Afrique, le potentiel des crises politiques et de la pression de migration sera intensifié comme le résultat des interactions entre l'augmentation de la sécheresse et de la raréfaction de l'eau, la forte croissance des populations, une chute des potentiels de l'agriculture et enfin une faible capacité politique de résistance à ces problèmes.

Dans la zone sahélienne, les changements climatiques vont augmenter le stress environnemental et les conflits sociaux (augmentation de la sécheresse et de la raréfaction des ressources en eau), dans les régions déjà instables comme la Somalie et le Tchad ou en guerre civile comme le Soudan et le Niger.

En Afrique australe, les changements climatiques pourraient en outre affaiblir le potentiel économique de cette région qui abrite des pays déjà les plus pauvres du monde. Dans la plupart des cas, ils pourront aussi aggraver les conditions de sécurité humaine.

Cette évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques est marquée par des incertitudes. La diversité des climats africains, l'importante variabilité des précipitations et le réseau d'observation très dispersé rendent les prévisions des futurs changements climatiques difficiles aux niveaux sous-régional et local. L'exposition et la vulnérabilité aux changements climatiques sont bien établies. La sensibilité aux variations climatiques est aussi établie mais incomplète. Toutefois, l'incertitude touchant les conditions futures signifie qu'il y a un très faible niveau de confiance dans les coûts prévus des changements climatiques. Cette évaluation peut créer un cadre permettant aux Etats de commencer à concevoir des méthodes d'estimation de ces coûts, en fonction de leur situation propre [ZINYOWERA et al., 2001; HULME et al., 2001 ; NKOMO et al., 2006].

2.2.6.1. Sécheresse et pastoralisme au Sahel

Entre le début des années 1970 et le milieu des années 1990, le Sahel africain a connu l'un des plus dramatiques changements climatiques observés partout dans le monde au XX^{ème} siècle, avec la baisse des précipitations en

moyenne par plus de 20% [HULME et al., 2001]. Cette période de dessèchement du climat a été associée à un certain nombre de très graves sécheresses, au cours de laquelle des centaines de milliers de personnes et des millions d'animaux sont morts [GLANTZ, 1976 ; 1996] (Photo 4).



Photo 4: Sécheresse au Sahel avec des carcasses d'animaux morts

Source : CORREAU, 2007

Depuis le début des années 1970, il y a eu un long débat sur les causes de la dessiccation du Sahel. Les théories de **CHARNEY** stipulent que la dégradation des terres et la désertification sont causées par l'utilisation inadéquate des sols [CHARNEY et al., 1975 ; 1977]. Cependant, alors que l'érosion des sols et la surexploitation des ressources sont, sans aucun doute, des problèmes dans certains domaines, les éléments de preuve pour l'origine anthropogénique de la dégradation des sols conduisant à la sécheresse dans toute la région du Sahel sont absents. Il est maintenant bien établi que, plutôt que d'être une conséquence de l'abus de la terre par les humains et les animaux, de la fin du XX^{ème} siècle ; la dessiccation sahélienne est le résultat de la variabilité du climat tirée par l'évolution de la température de surface mondiale.

Au cours du dernier glaciaire, quand l'Hémisphère Nord était nettement plus froid que l'hémisphère Sud en raison de l'énorme croissance de l'Inlandsis, le désert du Sahara était beaucoup plus vaste et plus aride qu'aujourd'hui [TALBOT, 1983].

Après la fin de la dernière ère glaciaire, le chauffage intense d'été de l'hémisphère nord (causée par les changements de l'inclinaison de la Terre sur son axe) a intensifié la mousson africaine, transformant le Sahara dans un paysage de lacs, de savanes boisées et ouvertes autour de 10 000 années avant le présent [**SZABO et al., 1995**]. Après une période caractérisée par des conditions généralement plus sèches, et ponctuée par de graves crises et des brusques arides, les précipitations de mousson se sont finalement effondrées dans la plupart des zones autour du Sahara il y a 5 000 ans. Cette transition s'est produite plus tôt dans la partie orientale du Sahara, et dans certaines régions, les précipitations hivernales ont persisté dans les régions des hauts plateaux après l'effondrement de la mousson [**BROOKS et al., 2005 ; BROOKS, 2006**].

Des données sur l'environnement, appuyées par des études de modélisation informatique mondiale et le climat régional, donnent à penser que l'effondrement de la mousson subsaharienne a eu lieu dans un ou deux brusques épisodes liés à l'évolution rapide des systèmes de végétation [**CLAUSSEN et al., 2003; BROOKS, 2006**]. Comme le chauffage fort solaire que dans un premier temps conduit à l'intensification des moussons après la fin de la dernière ère glaciaire, il a diminué en raison de nouveaux changements dans l'inclinaison de la Terre au soleil. Il semble que le système de la mousson a pu être soutenu par des rétroactions impliquant le recyclage de l'humidité par la végétation. La mousson a été particulièrement sensible aux chocs climatiques, tels que ceux associés au quasi-périodique des épisodes de froid en provenance de l'océan Atlantique Nord. Ces épisodes sont survenus tous les uns ou deux mille ans, depuis la fin de la dernière ère glaciaire, et sont associés à l'aridité dans tout l'hémisphère nord sub-tropicale [**BOND et al., 1997; BROOKS, 2006**]. L'un de ces événements se sont produits il y a 8 000 ans environ, conduisant à une période d'aridité dans le Sahara et ailleurs, qui a duré plusieurs siècles. Avant le système de la mousson récupérée en raison du chauffage solaire fort de l'été de l'Afrique du nord qui portait encore à l'heure actuelle. L'événement du refroidissement de

l'Atlantique s'est produit il y a 6 000 ans environ, et a coïncidé avec une évolution vers l'aridité dans la ceinture de la mousson de l'Hémisphère Nord **[BROOKS, 2006]**.

Aujourd'hui, les systèmes pastoraux africains ont leurs origines dans la préhistoire du Sahara, où ils ont émergé comme un moyen de mobiliser des ressources alimentaires dans un séchage et de plus en plus variable et avec un climat imprévisible. Les plus anciennes preuves de la domestication du bétail viennent de l'Est du Sahara où le dessèchement climatique avance plus rapidement **[NICOLL, 2004]**. Comme les conditions plus sèches se sont répandues dans le Sahara central entre environ 7 000 et 6 000 ans, a permis l'élevage des bovins. L'augmentation de l'aridité est soupçonnée d'avoir joué un rôle clé en encourageant l'intégration de la garde des troupeaux de bovins et de la chasse dans les systèmes d'alimentation.

Comme les précipitations ont diminué dans le temps et dans l'espace, les ressources végétales sont devenues plus variables, et les animaux seraient devenus rares. Le pastoralisme des bovins permettait à la population de suivre de plus en plus l'eau insaisissable et les pâturages, l'augmentation de la flexibilité grâce à une meilleure capacité à répondre à une rapide évolution et de plus en plus imprévisible **[MARSHALL et HILDEBRAND, 2002]**.

En conclusion, il apparaît que les changements climatiques actuels ne peuvent pas être expliqués seulement par la variabilité naturelle du climat. Le rôle des activités humaines a été bien démontré surtout par rapport à l'augmentation atmosphérique de la concentration des gaz à effet de serre depuis l'ère industrielle au XIX^{ème} siècle. Leurs conséquences imposeront un stress important à toute la planète selon la vulnérabilité et la sensibilité de chaque région. Les capacités d'adaptation restent toujours incertaines même si, selon les différents scénarios, certaines régions s'adapteront mieux que les autres. A la lumière de ces notions, il nous paraît important d'aborder dans la seconde partie de ce travail, les interrelations entre les changements climatiques et les productions animales.



DEUXIEME PARTIE :

**INTERRELATIONS ENTRE LES
CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LES
PRODUCTIONS ANIMALES**

CHAPITRE I. EMISSIONS DES GAZ À EFFET DE SERRE ET L'ELEVAGE

L'élevage a un impact substantiel sur les ressources mondiales en eau, les terres et la biodiversité et contribue significativement aux changements climatiques. Directement et indirectement, à travers les pâturages et la production de l'aliment bétail, le secteur de l'élevage occupe environ 30% de la surface terrestre non couverte de glaces. Dans de nombreuses situations, le bétail est une source majeure de pollution d'origine terrestre, émettant des éléments nutritifs et de matières organiques, d'agents pathogènes et de résidus de médicaments dans les rivières, les lacs et les eaux côtières **[STEINFELD et al., 2006]**.

En effet, les animaux et leurs déchets émettent des gaz, dont certains contribuent aux changements climatiques. Les changements d'utilisation des terres causés par la demande importante des céréales pour l'alimentation du bétail et de pâturage sont les conséquences du réchauffement global. Le bétail provoque la dégradation des terres de pâturage et contribue largement à réduire les habitats naturels. Le « *Livestock Environment And Development* » (LEAD) **[DE HAAN et al., 1997]** dans sa dernière évaluation de l'environnement et du développement du bétail a insisté sur la perspective du secteur de l'élevage et analysé les interactions entre élevage et environnement.

1.1. SOURCES DE GAZ A EFFET DE SERRE (GES) DANS LES ELEVAGES

La part du secteur de l'élevage dans le processus des changements climatiques n'est pas encore bien connue. Bien que les productions animales contribuent aux changements climatiques par l'émission des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Elles provoquent également la pollution des nappes phréatiques, la dégradation des écosystèmes et restent une atteinte contre la biodiversité.

Les fluctuations et les changements du climat futur, en particulier l'effet de la chaleur croissante et de gaz à effet de serre, pourraient en outre conduire à

la catastrophe par les inondations et la sécheresse. Le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde d'azote sont les principaux gaz à effet de serre résultants. Les élevages ont également d'importants moyens de créer l'effet de serre dans le monde, car ils libèrent aussi des grandes quantités de gaz, comme le méthane et l'ammoniac provoquant la pollution de l'air. Par conséquent, il est très important de surveiller les gaz nocifs de l'élevage des animaux en production [LOU YUJIE ZHAOLI, 2002].

L'agriculture avec environ 16% des émissions totales, produit moins de gaz à effet de serre que plusieurs autres secteurs tels que les secteurs du transport et de l'industrie. L'agriculture ne produit qu'une fraction insignifiante (<1%) du CO₂. En revanche, elle est responsable de plus de 50 % du N₂O et de 30 % du CH₄ produits [HOULE, 2002].

L'impact direct de réchauffement climatique est le plus élevé pour le CO₂ tout simplement parce que sa concentration et les quantités émises sont beaucoup plus élevées que les autres gaz. La figure 8 montre la répartition des émissions humaines de gaz à effet de serre par gaz en 2004 alors que la figure 9 montre l'évolution des concentrations des trois GES dans l'atmosphère depuis les années 1000 jusqu'en 2000.

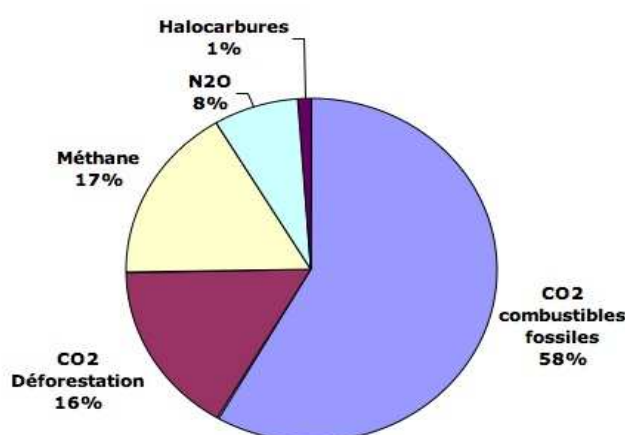


Figure 8: Répartition des émissions humaines de gaz à effet de serre par gaz en 2004, en milliards de tonnes équivalent carbone.

Source : IPCC, 2007

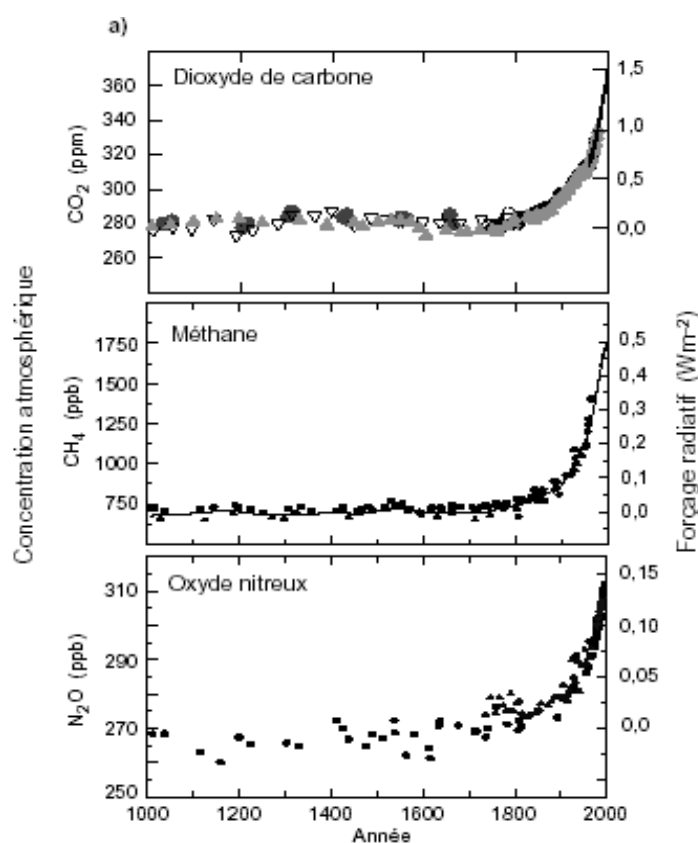


Figure 9: Indicateurs de l'influence de l'Homme sur l'atmosphère pendant l'ère industrielle

Source : IPCC, 2001a

1.2. MÉTHANE (CH₄)

Le méthane est le deuxième plus important gaz à effet de serre. Une fois émis, le méthane reste dans l'atmosphère pendant environ 9 à 15 ans. Le méthane a une efficacité 23 fois plus grande que celles du CO₂ pour intercepter la radiation infrarouge sur une période de 100 ans. Les concentrations du méthane de l'atmosphère ont augmenté de près de 150% depuis l'époque préindustrielle, bien que le taux d'accroissement a diminué récemment [IPCC, 2001a]. Il est produit par la décomposition biologique de la matière organique et par la réduction du CO₂ sous des conditions hautement anaérobies, c'est-à-dire l'absence d'oxygène. Les autres sources sont les sites d'enfouissement, le gaz naturel et le pétrole, les activités agricoles, les mines de charbon, la combustion fixe et mobile, le traitement des eaux usées et de certains procédés industriels. En élevage, on retrouve ces conditions dans le

système digestif des ruminants par les fermentations entériques et dans les structures d'entreposage des fumiers (surtout les fosses à lisier), qui sont respectivement responsables de 55% et 45% des émissions agricoles de CH₄. Le **GIEC (2001b)** a estimé qu'un peu plus de la moitié du méthane produit est d'origine humaine. La quantité du méthane produit actuellement est de 320 millions de Tonnes CH₄/an soit environ 240 millions de tonnes de carbone **[VAN AARDENNE et al., 2001]**, et cette proportion augmente continuellement à la vitesse de 1% chaque année **[LOU YUJIE ZHAOLI, 2002]**. Cette quantité est comparable au total de sources de gaz naturels **[OLIVIER et al., 2002]**.

La production de CH₄ d'origine fermentaire est le résultat de la dégradation anaérobie de la biomasse végétale ingérée, et ce, par les microorganismes présents dans le tube digestif. Tous les animaux d'élevage produisent donc du CH₄ et du CO₂. Cependant, les ruminants (bœuf, mouton, chèvre) excrètent des quantités plus importantes de ces gaz que les monogastriques (porc, cheval et volaille) comme l'illustre le tableau III.

Tableau III: Estimation de la production annuelle de méthane par différentes espèces animales.

Espèce	Production de méthane (kg/an)
Ruminant	
Vache laitière	90
Bovin en croissance	65
Mouton et chèvre	8
Non ruminant	
Cheval	18
Porc	1
Volaille	< 0,1

Source : SAUVANT, 1993

La figure 10 illustre les sources agricoles du méthane, les pourcentages sont issus de l'inventaire canadien des gaz à effet de serre en 2000 [Houle, 2002].

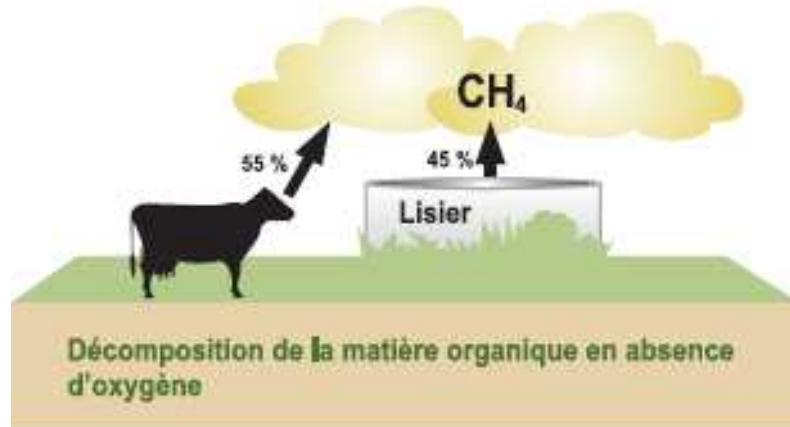


Figure 10 : Sources agricoles du méthane

Source : HOULE, 2002

1.2.1. Digestion des polygastriques et la production du méthane

Le méthane est un produit ordinaire de la digestion des ruminants. Il est produit par de nombreux types de bactéries grâce à la réaction de réduction du dioxyde de carbone et d'hydrogène. Il a une stabilité chimique et est émise en dehors de la bouche à travers l'éructation. Il est très difficile à digérer par l'organisme. En règle générale, 2% à 12% de l'énergie totale assimilés par les ruminants est perdue sous forme de méthane [LOU YUJIE ZHAOLI, 2002].

Le mécanisme de production du méthane illustré par la figure 11, montre le rôle des bactéries méthanogènes et les interventions nécessaires visant à baisser la formation de ce gaz.

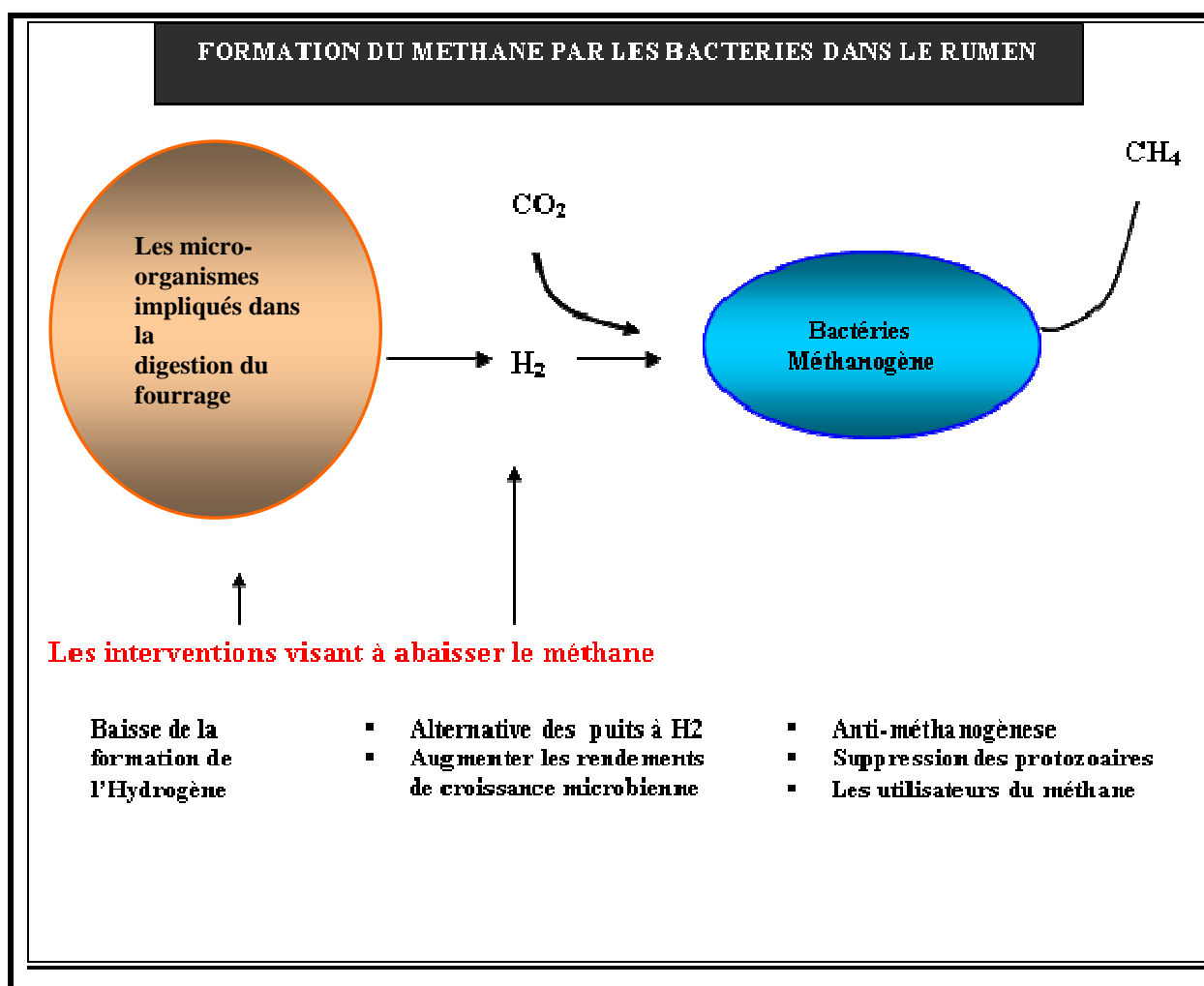


Figure 11 : Formation du méthane au cours de la digestion chez les ruminants

Source : JOBLIN, 1999

1.2.1.1. Facteurs influençant la production du méthane

La production de méthane est liée au contenu du rumen et au type de régime alimentaire riche glucides et en AGV (acides gras volatils). Les aliments du bétail, à l'exception des concentrés protéiques, contiennent environ 70 à 75% de glucides surtout sous forme d'amidon, de cellulose et d'hémicellulose. Les glucides fournissent donc en moyenne près de 3/4 de l'énergie alimentaire des animaux de ferme. À ce titre, les glucides constituent la base des régimes alimentaires destinés aux animaux domestiques.

Chez les ruminants, la digestion des glucides s'effectue principalement par l'action des microorganismes anaérobiques du rumen. Le rumen contient plus de 60 espèces de bactéries à une concentration totale de 10^9 - 10^{10}

bactéries (microflore) par millilitre (ml). Le fluide ruminal contient beaucoup moins de protozoaires (microfaune), soit environ 10^6 protozoaires par millilitre (ml), mais ces derniers étant plus gros que les bactéries, ils composent environ la moitié de la masse des microorganismes du rumen.

Les bactériens à méthane y sont en abondance notamment les bactéries ciliées. Les ciliées favorisent la production du méthane. Les protozoaires produisent de leur part une importante quantité de méthane dans le rumen. Le rapport entre les deux est une symbiose facultative. La fonction coopérative des bactéries ciliées et des protozoaires contrôle la production et l'élimination du méthane **[LOU YUJIE ZHAOLI, 2002]**.

En effet, la digestion des glucides alimentaires s'effectue en deux étapes. Les osides (glucides complexes) sont d'abord dégradés en oses (glucides simples) puis les oses sont utilisés (fermentés) par les microorganismes. Les oses libérés sont rapidement absorbés par les bactéries, de sorte qu'ils sont rarement détectés dans le rumen. Les oses sont métabolisés par les bactéries afin de produire de l'ATP nécessaire à leur métabolisme (entretien, croissance et division). Le métabolisme des microorganismes étant anaérobie, le pyruvate ne peut pas emprunter le cycle de Krebs ; les produits terminaux de la digestion sont principalement les acides gras volatils (l'acétate, le propionate et le butyrate), les gaz (le CO_2 , l' H_2 , et le CH_4) et l'eau (Figure 12).

Le pyruvate est un intermédiaire important, mais n'est généralement pas retrouvé en concentration importante dans le fluide ruminal. L'acétate constitue en moyenne 65% des acides gras volatils produits, le propionate près de 20% et le butyrate environ 10%. Avec un régime riche en concentrés, la proportion d'acétate diminue tandis que la proportion de propionate augmente **[CHOUINARD, 2002]**.

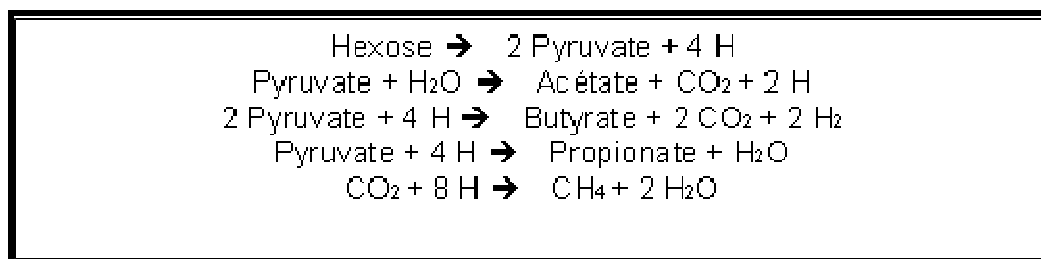


Figure 12 : Produits terminaux de digestion microbienne des glucides chez le ruminant

Source : CHOUINARD, 2002

Le taux de fermentation des glucides d'origine végétale est variable, étant donné leur grande diversité en sucres simples et en liaisons chimiques. Les liaisons glycosidiques de type β (ex.: cellulose) sont plus stables que celles de type α (ex. : amidon). Donc, l'hydrolyse enzymatique d'une liaison de type β représente un coût énergétique plus élevé que celle de type α . L'amidon serait donc plus facilement fermentescible que la cellulose. Les glucides solubles peuvent être fermentés en quelques minutes tandis que les glucides de structure sont dégradés à un taux qui varie selon la source et la pureté du substrat. En ordre décroissant de vitesse de fermentation, les glucides peuvent être classés de la façon suivante [CHOUINARD, 2002]:

Sucres solubles > Fructosanes > Amidon > Pectines > Hémicelluloses > Cellulose

L'ensemble des réactions présentées à la figure 12 montre que la production d'acétate est reliée à la production de CH₄, alors que celle du propionate est reliée à la production de CO₂. Il existerait également une relation inverse entre la production de propionate et celle de CH₄. Il existe une corrélation négative entre la production de l'acide propionique et celle du méthane, alors que la corrélation est positive avec l'acide acétique et le ratio acétate/propionate [LOU YUJIE ZHAOLI, 2002]. Finalement, d'autres travaux ont montré que les concentrations de CH₄ et de CO₂ évoluaient en sens inverse au cours de la journée; les concentrations de l'un étant maximales dans le contenu ruminal au moment où les concentrations de l'autre sont minimales [VERMOREL, 1995].

Il est très possible que le type des glucides influence l'élimination du méthane par le biais de son influence sur le pH et la flore microbienne du rumen. Si la proportion de concentrés de céréales représente 80% de l'alimentation, 3% à 4% de l'énergie du fourrage peut être transformée en énergie sous forme de méthane et sera éliminé à l'extérieur, si les animaux sont complètement alimentés avec des fibres grossiers, plus de 10% de l'énergie peut être émise sous forme de méthane. La production de méthane n'est pas fonction du sexe, de l'âge ni de la souche des animaux.

1.2.1.2. Influence du régime alimentaire sur la production du méthane

À partir des résultats de plusieurs études menées chez le bovin et le mouton, **BLAXTER et CLAPPERTON (1965)** ont montré que les pertes d'énergie sous forme de CH_4 augmentaient avec la digestibilité du régime. Cet accroissement dépend toutefois des caractéristiques des ingrédients du régime. Par exemple, le broyage des fourrages diminue leur temps de séjour dans le rumen, ce qui réduit la digestibilité des parois végétales et la production de CH_4 . **BLAXTER et CLAPPERTON (1965)** ont également montré que la proportion de l'énergie brute perdue sous forme de CH_4 était réduite avec l'augmentation de la prise alimentaire, c'est-à-dire du niveau de production et de la vitesse de passage des particules dans les compartiments du système digestif.

BEEVER (1993), quant à lui, a comparé le bilan de fermentation d'une ration riche en fourrages à celui d'une ration riche en aliments concentrés. Les relations stoechiométriques pour ces deux régimes s'établissaient comme suit:

- Fourrages : 1 mole CHO = 1,34 acétate + 0,45 propionate + 0,11 butyrate + 0,61 CH_4 + 4,62 ATP (énergie)
- Concentrés : 1 mole CHO = 0,90 acétate + 0,70 propionate + 0,20 butyrate + 0,38 CH_4 + 4,38 ATP (énergie)

Ces équations montrent que l'addition d'aliments concentrés dans la ration oriente les conditions ruminales vers une fermentation amylolytique au détriment de la fermentation cellulolytique. Ce phénomène entraîne une diminution de la digestibilité des parois ainsi que des pertes d'énergie sous forme de CH₄ [CHOUINARD, 2002].

1.2.1.3. Elimination du méthane dans l'atmosphère

En Chine par exemple, les émissions de méthane produit à partir des animaux domestiques et de leurs déchets sont: en 1988, 6,314 millions de tonnes de méthane, dont 89% proviennent de ruminants, soit 5,67 millions de tonnes ; en 1990, a été produit 6,61 millions de tonnes, 89,4% d'entre elles proviennent de ruminants, étant 5,91 millions de tonnes. La production moyenne chaque année augmente à la vitesse de 2,34% [LOU YUJIE ZHAOLI, 2002]. La production de méthane libérée par les vaches occupe la majeure partie de celle émanant des ruminants (tableau IV). La fermentation de l'urine et des excréments du bétail est également une source de méthane.

Tableau IV: Production du méthane par les animaux en Chine

Animaux	Production du méthane (%)
Bovins (vaches laitières)	74
Buffles d'eau	8
Moutons et chameaux	1
Mules et Chevaux	2
Porcs	1
Ruminants sauvages	5

Source : LOU YUJIE ZHAOLI, 2002

1.2.1.4. Les relations stœchiométriques

VERMOREL (1995) a présenté un exemple de relation stœchiométrique (se rapportant aux proportions de combinaison des éléments) correspondant à la fermentation dans le réticulo-rumen d'une ration de 20 kg de matières

sèches, soient environ 18 kg de matières organiques ingérées par une vache de 600 kg en lactation. De cette ration, 8,1 kg de matières organiques seront dégradés dans le complexe réticulo-rumen, ce qui correspond à environ 50 moles d'équivalents anhydro-glucose (CHO). Le bilan de cette dégradation est le suivant :

50 CHO \longrightarrow 59 acétate + 23 propionate + 9 butyrate + 53 CO₂ + 24 CH₄ + 230 ATP + chaleur

Cette relation peut aussi être exprimée en termes d'énergie :

34,02 Mcal \longrightarrow 12,33 Mcal + 8,44 Mcal + 4,72 Mcal + 0 Mcal + 5,08 Mcal + 1,68 Mcal + 1,77Mcal

La production de CO₂ ne représente donc pas une perte d'énergie pour la vache. Par contre, les pertes sous forme de CH₄ représentent environ 15% de l'énergie des équivalents anhydro-glucose fermentés, soit 10,5% de l'énergie digestible ou 6,7% de l'énergie brute de la ration ingérée. D'un point de vue productivité, une réduction de l'émission de CH₄ pourrait représenter un gain d'efficacité alimentaire, à condition toutefois que l'énergie ainsi épargnée soit rendue disponible à l'animal.

Au plan nutritionnel, la relation peut s'inscrire ainsi :

50 CHO \longrightarrow 3,54 kg acétate + 1,70 kg propionate + 0,79 kg butyrate + 1187 litres CO₂ + 538 litres CH₄ + 2,5 kg de biomasse microbienne + chaleur

Il existe plusieurs façons de mesurer les quantités de CH₄ produit par le bétail. Une de ces méthodes consiste à placer l'animal dans un espace clos (chambre respiratoire) et à mesurer la quantité de CH₄ qui s'accumule dans cet espace. Il est aussi possible de quantifier les émissions de CH₄ produit par des bovins qui se trouvent dans une étable en mesurant la concentration de CH₄ dans l'air qui s'échappe par les conduits d'aération [KINSMAN et al., 1995]. Cette méthode évalue simultanément les quantités de CH₄ produit par

tous les animaux, y compris par leurs déjections. Un monogastrique produit moins de 10% du méthane émis par un polygastrique. À titre d'exemple, un porc de 80 kg produit 1 kg de méthane par année par fermentation entérique [IPCC, 1997]. Cependant, cette production est fonction de l'énergie digestible des aliments.

1.2.2. Emissions du méthane par les déjections

Les émissions de CH₄ des déjections sont fortement influencées par le type d'animal, la quantité de matière solide volatile, la disponibilité d'oxygène (aérobie ou anaérobie), la température, le pH et la durée d'entreposage. À titre d'exemple et se basant sur les conditions prévalant pour l'entreposage des déjections dans un climat froid de l'Amérique du Nord et dans un réservoir à lisier, un calcul semblable à celui déjà fait pour le CO₂ peut être fait [IPCC, 1997] :

- La production de méthane des déjections d'une vache laitière de 600 kg sera:

6 kg de SV/jour x 0,16 kg de CH₄/kg de SV x 365 jours/année x 0,39 = 136,6 kg de CH₄/année.

- La production de méthane des déjections d'un porc de 80 kg sera :

0,68 x 0,30 x 365 x 0,39 = 29 kg de CH₄/année.

Si nous avons considéré la production de méthane par des déjections sous forme solide, nous aurions obtenu des quantités négligeables de CH₄.

1.2.3. Méthode de calcul de la production du méthane chez les animaux

Les émissions de méthane sont calculées en multipliant les populations d'animaux par leur coefficient d'émission. Les coefficients d'émission par défaut du **GIEC** pour les climats froids ont été utilisés. Pour les différentes catégories de veaux, le facteur moyen du **GIEC** pour ces derniers est utilisé [GIEC, 1997]. Les coefficients d'émission sont présentés dans le tableau V.

Tableau V: Coefficients d'émissions annuelles de CH₄ pour le bétail et le fumier

Type d'animal	Fermentation entérique (kg CH ₄ /tête/an)	Traitement du fumier (kg CH ₄ /tête/an)
Bovins laitiers		
Vaches laitières	118	21,383
Taures >1 an	56	21,383
Taureaux >1 an	75	21,383
Génisses < 1 an	47	21,383
Veaux lourds de lait	45,5	2,054
Petits veaux d'abattage	0	2,054
Bovins		
Vaches de boucherie	69	2,054
Taures >1 an	56	2,054
Génisses de remplacement	47	2,054
Bouvillons >1 an	45,5	2,054
Taureaux >1 an	75	2,054
Bovins de semi-finition	45,5	2,054
Veaux	45,5	2,054
Porcins		
Porcs	1,5	15
Autres animaux d'élevage		
Bisons	55	1
Moutons	8	0,19
Chèvres	5	0,12
Chevaux	18	1,39
Volaille		
Poulets, poules, dindes		0,079

Source : GIEC, 1997

1.2.3.1. Comparaison d'émissions du méthane chez les bovins élevés en système intensif et extensif.

Supposons, par exemple, un élevage moderne intensif de 100 vaches laitières et un troupeau de vaches locales africaines de 100 têtes en transhumance.

D'après le tableau V, une vache laitière de 600 kg en moyenne produit respectivement 118 kg et 21,383 kg de méthane par an issus de la fermentation entérique et du traitement du fumier, soit un total de 139,383 kg par vache.

Par contre, si une vache locale pèse 250 kg en moyenne, elle produit environ 50 kg (calculé) de méthane par an issus de la fermentation entérique uniquement. En Afrique, l'émission du méthane par le fumier est presque nulle

car ce dernier n'est pas traité mais aussi les animaux dispersent leurs déjections tout au long du parcours et ces dernières se dessèchent sans processus de fermentation.

Le tableau VI montre qu'à nombre égal, les vaches laitières produisent 2,7 fois de CH₄ que les vaches locales africaines. Pour produire la même quantité de méthane, il faudrait un troupeau de 278 vaches locales.

Tableau VI: Comparaison des quantités du gaz méthane émis par les élevages intensif et extensif

	Elevage intensif	Elevage extensif
Nombre d'animaux	100	100
Quantité de méthane produite (kg)	13 938.3	5000
Productivité laitière	Très importante	Très faible

Ces résultats illustrent le rôle majeur des vaches laitières hautes productrices de lait dans l'émission des gaz à effet de serre. Dans le contexte actuel, il serait difficile de dissocier l'augmentation de la productivité laitière et la réduction des émissions du méthane, car on remarque une corrélation positive entre ces deux facteurs.

1.2.4. Moyens disponibles pour la réduction de la production du méthane

1.2.4.1. Augmentation de la productivité animale

Différentes méthodes sont envisageables pour réduire la production de CH₄ par les ruminants domestiques. Selon **SAUVANT (1993)**, la stratégie la plus efficace semble être l'augmentation de la productivité animale qui permet, à production égale, de réduire la taille du cheptel ou la durée des périodes d'élevage. À ce sujet, il cite l'exemple théorique d'une ferme laitière avec une production visée de 2 400 hectolitres (hl) de lait par an. Cet objectif peut être atteint avec un troupeau de 60 vaches produisant 4 000 kg de lait par an. Dans ces conditions, chaque vache libère annuellement 109 kg de CH₄, ce qui

représente 6 570 kg ou 9 200 m³ de CH₄ pour l'ensemble du troupeau. Le même objectif de production peut également être atteint avec un troupeau de 24 vaches produisant 10 000 kg de lait par an. Dans ce cas, chaque vache libère 146 kg de CH₄, mais au total, l'ensemble du troupeau produirait seulement 3 504 kg ou 4 900 m³ de CH₄ pour une année complète.

Comme il a été mentionné, l'augmentation du niveau de prise alimentaire et de la quantité d'aliments concentrés ajoutée à la ration chez les animaux plus productifs a pour effet de réduire la proportion de l'énergie perdue sous forme de CH₄. Cependant, l'augmentation de la quantité d'aliments consommés entraîne nécessairement une élévation de l'émission totale de CH₄ par l'animal. Cet exemple fait donc ressortir l'importance, d'un point de vue environnemental, de calculer la quantité de CH₄ émise par unité de produit et non par animal ou par unité de fourrage ou d'énergie ingérée.

1.2.4.2. Antibiotiques ionophores

Les antibiotiques ionophores font partie des nombreux additifs alimentaires utilisés en production bovine [VAN NEVEL, 1991]. Le Monensin ou la salinomycine est l'un des ionophores les plus utilisés. Des études ont montré que ce dernier inhibe significativement la production de CH₄ dans le rumen [SAUER et al., 1998] avec une action sélective sur les microorganismes [RUSSEL et STROBEL, 1989]. Cette inhibition est le résultat indirect d'une diminution de la production d'ions hydrogènes. Les substances ionophores améliorent l'efficacité alimentaire en stimulant ou non la croissance des animaux et en réduisant simultanément l'ingestion ; ces changements s'accompagnent, au niveau des fermentations ruminales, d'une diminution du rapport C2/C3 et d'une diminution des productions de méthane et de lactate [VAN NEVEL et DEMEYER, 1988]. Cependant, une certaine adaptation des microorganismes méthanogènes aux ionophores a déjà été rapportée dans la littérature. En effet, une reprise totale de la production de CH₄ a été observée après deux semaines de traitement aux ionophores chez des bovins recevant une ration riche en concentrés [RUMPLER et al., 1986].

Malgré de bons résultats, les antibiotiques sont interdits dans l'alimentation animale actuellement à cause de leurs résidus et le développement des bactéries résistantes.

1.2.4.3. Acides gras à longue chaîne

Des matières grasses peuvent être ajoutées à la ration des ruminants dans le but d'augmenter l'apport en énergie. Dans le rumen, ces matières grasses réduisent la digestibilité des autres constituants de la ration, en particulier les glucides structuraux. Plus spécifiquement, les acides gras alimentaires empêchent l'attachement des bactéries cellulolytiques sur les particules d'aliment, ce qui réduit leur efficacité. Les acides gras polyinsaturés pourraient également exercer un effet toxique directement sur les populations bactériennes. Ces inhibitions s'accompagnent ainsi d'un accroissement du pourcentage d'acide propionique dans le contenu ruminal et d'une réduction des émissions de CH₄ [BAUCHART, 1981].

L'ajout d'acides gras polyinsaturés (acide linoléique que l'on retrouve par exemple dans l'huile de lin) diminue la production de méthane de 30 à 50%, et cela sans modifier la production de lait ou de viande [MASSON, 2008]. À titre d'exemple, une étude réalisée chez le mouton a montré qu'une augmentation d'un point du pourcentage de matières grasses ajoutées aux rations s'accompagnait d'une diminution de 2,6% de la production de CH₄ [GIGER-RIVERDIN et al., 1992]. Il faut toutefois veiller à ce que l'effet inhibiteur sur la digestibilité de la ration n'affecte pas de façon trop importante l'efficacité alimentaire des animaux.

1.2.4.4. Autres méthodes

D'autres méthodes ont été ou sont présentement à l'étude dans le but de réduire la méthanogénèse dans le rumen. Ces technologies impliquent l'utilisation d'analogues halogénés du CH₄ ainsi que des interventions biotechnologiques comme la défaunation du rumen ou l'implantation de bactéries capables de réaliser activement l'acétogénèse réductrice aux

dépens de la méthanogénèse. Ces technologies engendrent toutefois des effets secondaires indésirables tels une réduction de la dégradabilité de la fibre, une adaptation des microorganismes et la possibilité d'accumulation de résidus dans la viande, le lait ou l'environnement [DEMEYER ET FIEVEZ, 2000].

WALLACE (2008) a obtenu des résultats satisfaisants après des essais d'utilisation de l'acide fumarique chez les agneaux. L'idée est d'utiliser l'acide fumarique ($C_2H_2(CO_2H)_2$), qui va fixer l'hydrogène dans le rumen avant les bactéries productrices de méthane. Les quantités à intégrer à la ration des animaux sont importantes, d'où un problème de coût et un risque d'acidose qui a été résolu en encapsulant la molécule. Et la démarche est payante : comparé au lot témoin d'agneaux, le produit en capsulé distribué à hauteur de 10 % de l'ingéré a entraîné une diminution de 75% de la production de CH_4 et une augmentation de l'efficacité alimentaire de 20% (gain de poids par kilo ingéré). En effet, l'énergie du méthane est retenue dans le corps de l'animal qui enregistre une croissance supérieure de 10%. Pour chaque kg d'aliment consommé, le poids vif de l'animal augmente de 10% [WALLACE, 2008].

De nombreuses molécules bactéricides qui ciblent les bactéries captant l'hydrogène pour produire du méthane sont en cours d'étude à travers le monde. Extraits d'ail, de piment, de yucca et de cannelle, de rhubarbe et de bourdaine, sérum de luzerne peuvent diminuer significativement la méthanogénèse. Mais s'agissant d'essais menés dans des conditions éloignées de la pratique, leur application semble encore prématurée.

Au total, les tentatives pour réduire la production de CH_4 par les ruminants en utilisant des inhibiteurs de la méthanogénèse comme les acides gras à chaîne longue, les analogues halogénés du CH_4 , les antibiotiques et les interventions biotechnologiques comme la défaunation du rumen ou l'acétogénèse réductrice ont donné des résultats intéressants à l'échelle expérimentale. Mais, une série d'effets secondaires et d'interactions ont été observés, ce qui fait qu'aucune méthode ne semble applicable en pratique

pour le moment. Il est également important d'évaluer la portée des diminutions obtenues. Le CH₄ contribue à environ 16% de l'effet de serre [DEMEYER et FIEVEZ, 2000] et les ruminants produisent environ 15% de ce gaz à l'échelle de la biosphère [SAUVANT, 1993]. Leur contribution à l'effet de serre est donc au total d'environ 2,5%. En diminuant de 20% la production de CH₄ par les ruminants d'élevage, il serait possible d'obtenir une réduction de l'effet de serre de l'ordre de 0,50%. Cette baisse représenterait un défi de taille sur le plan nutritionnel puisqu'il faudrait obtenir une réponse satisfaisante chez tous les animaux, peu importe la race, l'alimentation, l'environnement, le stade de croissance, etc. Cette baisse impliquerait également que les technologies développées soient adoptées par tous les éleveurs avec comme motivation principale une réduction de la pollution d'origine agricole.

1.3. PROTOXYDE D'AZOTE (N₂O)

Il n'y a pas de production significative d'oxyde nitreux (N₂O) dans les bâtiments d'élevage. Le N₂O est un gaz à effet de serre très puissant. En effet, l'émission d'un kg de N₂O dans l'atmosphère augmente l'effet de serre d'une valeur comparable à l'émission de 310 kg de CO₂ [IPCC, 2001b]. Les activités agricoles produisent plus de la moitié (50 à 80 %) de tout le N₂O émis par les activités humaines. En agriculture, le N₂O est produit lors de deux transformations biologiques de l'azote minéral: la nitrification qui transforme l'azote ammoniacal (NH₄⁺) en nitrate (NO₃⁻) et la dénitrification qui réduit le nitrate en azote moléculaire (N₂). Deux phénomènes sont impliqués à savoir les réactions microbiennes entre les engrais azotés et le sol, surtout dans les sols humides et les réactions microbiennes entre le fumier solide et l'air libre. Toutefois, il a une très longue durée de vie atmosphérique 114 ans.

La capacité des déjections animales à produire l'oxyde nitreux est fonction de leur teneur en azote. Elles perdent une quantité importante d'azote sous forme d'ammoniac en entreposage. DOURMAD et al. (1999) considèrent en effet que les pertes d'azote par volatilisation sous forme d'ammoniac sont d'environ 25 % dans le bâtiment et de 5 à 10 % à l'extérieur, en fonction des

conditions et de la durée d'entreposage. La gestion efficace de l'azote sur les fermes devient donc un élément important pour diminuer l'émission de N_2O [STEINFELD, 2006].

Le GIEC (1997) propose une méthode pour estimer les quantités de N_2O produites par les déjections sous diverses formes d'entreposage. En se basant sur la méthode de calcul suivante, une vache laitière de 600 kg avec gestion liquide des déjections dans un climat froid d'Amérique du Nord produit environ :

- 0,27 kg d'azote excrété par jour, soit 98,55 kg par année x un facteur d'émission sous ces conditions de 0,001 x 1,57 kg de N_2O /kg de N = 0,155 kg de N_2O /année.

Un porc de 80 kg qui excrète 15,2 kg d'azote par année produit environ :

- $15,2 \times 1,57 \times 0,001 = 0,024$ kg de N_2O /année.

La figure 13 illustre les différentes sources agricoles du protoxyde d'Azote, nous remarquons que la part de l'élevage est de 26% selon l'inventaire des gaz à effet de serre du Canada [HOULE, 2002].

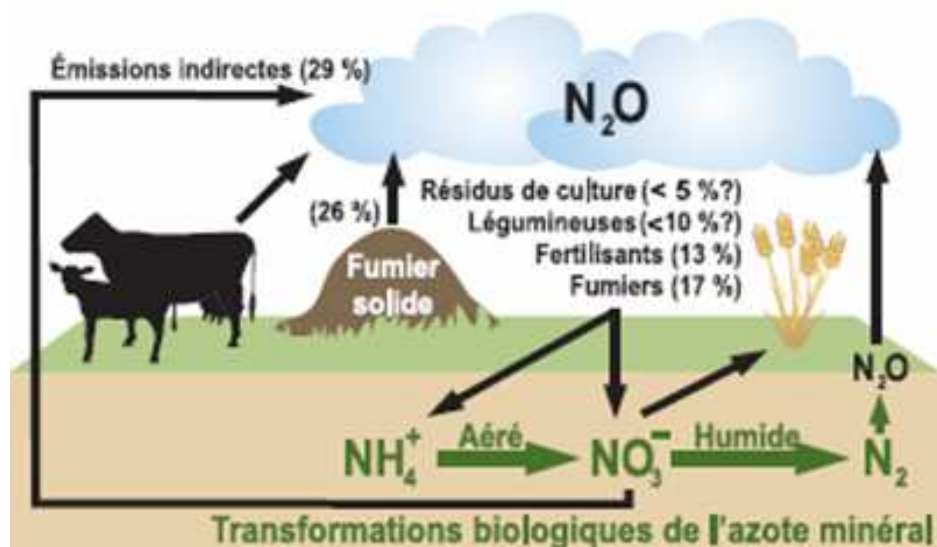


Figure 13 : Sources agricoles de protoxyde d'Azote (N_2O)

Source : HOULE, 2002

1.3.1. Digestion chez les monogastriques et production de l'ammoniac

Un poulet excrète quotidiennement environ 100g soit 36 kg par an ; un porc excrète 6 kg quotidien soit 2,5 tonnes par an. L'azote fécal des monogastriques est composé de protéines somatiques. Quand les protéines indigestes dans l'intestin grêle sont transmises dans le gros intestin, une partie d'entre elles est dégradée en acides aminés et de l'ammoniac par les bactéries intestinales. L'azote fécal donne la première place à l'azote organique, atteignant plus de 80%. Dans des conditions normales, les substances contenant de l'azote dans les excréments et l'urine des animaux d'élevage et de la volaille sont toutes non protéiques, principalement l'urée, l'ureidohydantoine, des bases puriques, acide hippurique, ammoniac, etc. Dans l'urine de porc, la proportion d'azote uréique et de l'azote ammoniacal est respectivement de 26,60% et 0,79%. Grâce à la désamination, l'excédent d'acides aminés dans le corps des monogastriques est transformé en ammoniac, qui est transformé en urée par le biais du cycle de l'ornithine dans le foie. L'azote urinaire est excrété sous forme d'urée. L'ammoniac libéré par les excréments de porcs provient de l'urée dans l'urine.

1.3.2. Mesures de réduction des émissions de l'ammoniac

Les émissions agricoles de NH_3 dans les fermes peuvent être réduites grâce à différentes méthodes qui, en général, consistent à absorber le NH_3 dans de l'eau ou dans un acide, à prévenir l'excrétion excessive de l'Azote par les animaux ou à réduire au minimum l'exposition à l'air des sources de NH_3 .

En effet, la réduction au minimum des excréments d'azote par les animaux dans le fumier constitue la manière la plus simple de diminuer les émissions de NH_3 par les déjections animales.

1.3.2.1. Utilisations des additifs

1.3.2.1.1. Acides organiques

Il contient principalement l'acide fumarique, l'acide citrique et l'acide lactique, etc. Les additifs à base d'acides organiques peuvent modifier la flore

intestinale, baisser le pH des aliments et promouvoir l'activité de la pepsine. Leur acidité peut ralentir la vitesse de vidange de l'estomac et rallonger le temps de l'escabe de protéines dans l'estomac, qui sont bénéfiques pour la digestion des protéines. L'amélioration du métabolisme des nutriments permet de réduire l'excrétion d'azote, ce qui diminue la production d'ammoniac.

1.3.2.1.2. Utilisation des produits enzymatiques

Les enzymes permettent d'augmenter la disponibilité des acides aminés dans les fourrages. Les protéinases peuvent libérer à forte teneur les protéines et les acides aminés existant dans le fourrage pour réduire les déjections fécales de l'azote.

1.3.2.1.3. Utilisation des bactéries vivantes

L'utilisation des bactéries favorisant la conversion de l'acide urique (un précurseur de l'urée) en nitrate dans l'alimentation permet de réduire les émissions de l'ammoniac. Cela est bénéfique à la santé des animaux, et atténue l'odeur des excréments malodorants et purifie l'environnement autour des élevages. **LOU YUJIE ZHAOLI (2002)** a montré que, lorsque 0,1% des probiotiques a été ajouté dans le régime alimentaire de 35 à 85 jours chez les porcs, la densité de l'ammoniac a été diminué de 32,5% ($p < 0,05$).

1.4. DIOXYDE DE CARBONE (CO₂)

Le CO₂ est produit par l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole). Le reste est imputable, pour l'essentiel, aux modifications de l'utilisation des sols, et plus particulièrement au déboisement. Le gaz carbonique additionnel libéré par les activités humaines est responsable de 55% de l'accroissement de l'effet de serre.

Il est de loin le gaz à effet de serre le plus abondant. L'activité agricole ne contribue que très peu à ces émissions car la consommation énergétique des fermes est relativement faible par rapport aux autres activités de la société. L'émission de CO₂ d'origine digestive s'ajoute à la production de CO₂ d'origine

métabolique (respiration de l'animal) [CHOUINARD, 2002]. Les surfaces agricoles, tout comme les forêts, jouent cependant un rôle très actif dans les échanges de CO₂ entre l'atmosphère et la biosphère. Le rôle essentiel de la matière organique dans le fonctionnement des sols agricoles est bien connu. Maintenant on peut ajouter le potentiel de séquestration du CO₂ dans les sols dans la colonne des bénéfices tels qu'illustrent par la figure 14.

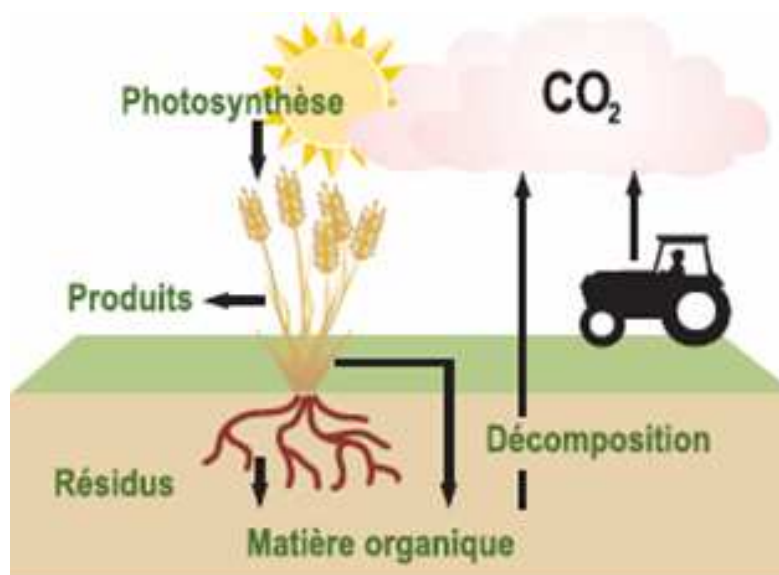


Figure 14 : Source et puits agricoles du gaz carbonique

Source : HOULE, 2002

En effet, toute augmentation de la matière organique des sols contribue à réduire le CO₂ atmosphérique. La concentration atmosphérique de dioxyde de carbone (CO₂) a augmenté de 31% depuis 1750 [IPCC, 2001a]. La concentration actuelle de CO₂ n'avait encore jamais été atteinte au cours des 420 000 dernières années et probablement pas non plus au cours des 20 millions d'années précédentes. Le taux d'augmentation actuel est sans précédent depuis au moins 20 000 ans. Aujourd'hui, les océans et les terres absorbent environ la moitié des émissions anthropiques de CO₂. Sur terre, l'absorption de CO₂ anthropique dépasse très probablement le volume des émissions de CO₂ dues au déboisement pendant les années 90.

Le taux d'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère a été d'environ 1,5 ppm (0,4%) par an ces 20 dernières années. Pendant les

années 90, l'augmentation d'une année sur l'autre a varié de 0,9 ppm (0,2 pour cent) à 2,8 ppm (0,8%). Une grande partie de cette variabilité est due à l'effet de la variabilité du climat (par exemple, le phénomène El Niño) sur l'absorption et l'émission de CO₂ par les terres et les océans.

1.5. VAPEURS D'EAU

La vapeur d'eau est l'élément qui contribue le plus à l'effet de serre naturel, sa présence dans la nature n'est pas directement touchée par l'activité humaine. Elle est à l'origine de 55% de l'effet de serre. Néanmoins, la vapeur d'eau a une incidence sur les changements climatiques du fait d'une importante « réaction positive ». Les modèles de scénarii de la **GIEC (2001b)** prévoient qu'un léger réchauffement de la planète entraînerait une augmentation des concentrations totales de vapeur d'eau, qui viendraient aggraver l'effet de serre.

Voici un tableau comparatif (VII) des émissions de gaz à effet de serre aux bâtiments d'élevage pour une vache laitière de 600 kg et pour un porc de 80 kg sous gestion liquide des déjections.

Tableau VII: Gaz à effet de serre produits dans les bâtiments d'élevage

	Vache laitière de 600 kg		Porc de 80 kg	
	(kg)	(kg équivalents de CO ₂)	(kg)	(kg équivalents de CO ₂)
CO ₂	3 405	3 405	664	664
CH ₄	255	5 355	30	630
N ₂ O	0,155	48	0.024	7,5
Total d'équivalents de CO₂ (tonnes)		8,8		1,3

Source : CHOUINARD, 2002

1.6. Sources agricoles de gaz à effet de serre par secteur

L'agriculture est une source significative de GES, les trois principales sources étant les ruminants, le fumier et les fertilisants (azote). Ainsi, les

productions animales sont responsables de 15,9% des émissions de GES, les productions végétales y contribuent pour 10% alors que la combustion fossile en fournit 11,3%. Les productions agricoles émettent 40% des émissions du CH₄ ainsi que 60% d'émissions de N₂O (Figure 15).

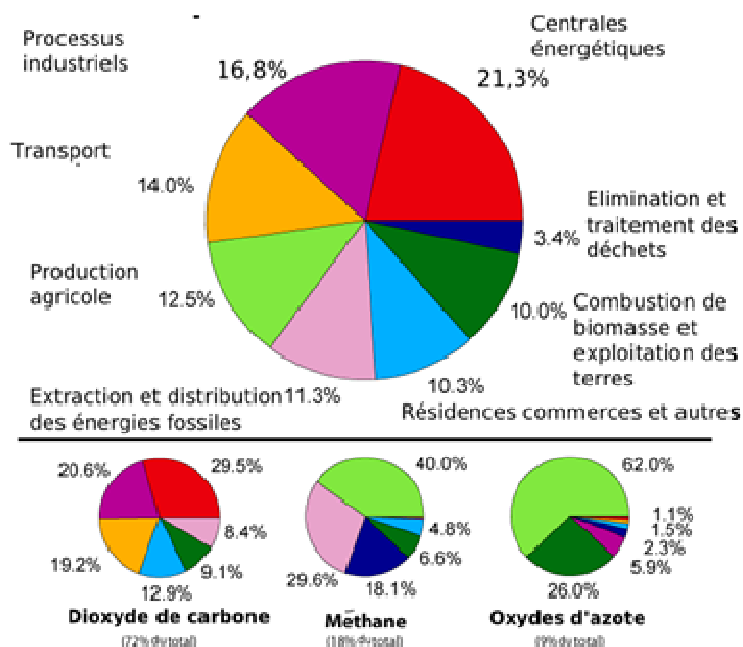


Figure 15 : Emissions annuelles de gaz à effet de serre par secteur

Source: ROHDE, 2007

1.7. Elevage industriel et l'environnement

1.7.1. Elevage des vaches laitières

Une des caractéristiques fondamentales de l'élevage bovin par rapport aux autres élevages (porcs et volailles) est sa très forte liaison au sol et le caractère local de cette liaison. Les rejets sont en grande partie recyclés, directement ou après stockage, sur les sols qui ont servi à produire la majorité de la nourriture. Ceci fonctionne globalement comme un cycle interne à l'exploitation avec relativement peu d'intrants extérieurs, c'est-à-dire peu de déplacements d'éléments d'un lieu à un autre (exploitation, région, pays) [CHATELLIER et VERITE, 2003].

Cependant, les relations entre l'élevage bovin dans le système intensif et l'environnement sont fortement influencées par le type de production (vaches laitières, vaches allaitantes, veaux de boucherie, veaux de batterie, broutards,

taurillons, boeufs, génisses d'élevage, génisses à viande,...), le niveau d'intensification des superficies fourragères et la productivité des facteurs de production **[VISSAC, 2002]**. L'impact de l'élevage bovin dans le système extensif sur l'environnement en matière de l'émission des GES, par contre, sont moins importants ; les animaux parcourent de longue distance pour s'alimenter, leurs déjections sont éparpillées sur le parcours.

L'analyse de l'impact environnemental des systèmes bovins est d'autant plus difficile à conduire que les exploitations bovines sont souvent multi-produits (combinaisons élevage bovin / grandes cultures / hors-sol, etc.) et que les systèmes productifs sont fortement diversifiés d'une région à l'autre (bovins allaitants élevés de manière extensive, ateliers d'engraissement de veaux de boucherie ou de taurillons proches du hors-sol, laitiers spécialisés, lait-taurillon ...). Cette diversité se manifeste également au travers du milieu exploité, des méthodes de production **[CHATELLIER et al., 1997]**, du degré de spécialisation des exploitations et du mode d'alimentation des animaux (pâturage, fourrage, foin, ensilage d'herbe, ensilage de maïs, céréales, aliments concentrés).

L'impact de l'élevage bovin sur l'environnement est donc contrasté en fonction de ces différentes situations et, selon les cas, il apparaît globalement positif ou négatif. En élevage bovin, les risques de pollution sont associés surtout à la masse d'azote (N) et de phosphore (P) mise en jeu aux plans agronomique et zootechnique. La production de méthane - qui est un gaz à effet de serre - est par contre une spécificité des herbivores. Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat **[IPCC, 1997]** considère qu'une vache laitière de 600 kg dans la partie froide de l'Amérique du Nord produit 118 kg/an de méthane entérique. Enfin, l'impact de l'élevage bovin sur le territoire (paysage, habitats,...) est nécessairement important du fait de l'ampleur des surfaces concernées.

1.7.2. Production porcine

La production porcine s'est retrouvée au cœur de nombreux débats, notamment en ce qui a trait à la taille des cheptels, la gestion du lisier et son impact sur l'environnement, la spécialisation des entreprises, les odeurs incommodantes. Depuis, le grand défi auquel doit faire face la production porcine consiste à remplir les engagements découlant des trois grands axes du développement durable, à savoir la prise en compte des risques environnementaux, ainsi que l'acceptabilité sociale de la production, et ce, tout en restant économiquement viable.

Les chercheurs de l'**INRA (2004)** ont utilisé la méthode dite « d'Analyse de Cycle de Vie » pour analyser et comparer l'impact environnemental des systèmes de production de la viande porcine :

- «bonnes pratiques agricoles» correspondent à un élevage porcin conventionnel respectant les règles spécifiées par l'agriculture raisonnée, en matière de fertilisation ;
- «agriculture biologique» respecte les règles françaises de production animale biologique et les règles européennes de productions biologiques des cultures ;
- «Porc Fermier Label Rouge nourri avec des céréales seulement».

Cette approche s'appuie sur un inventaire des émissions et des ressources utilisées à plusieurs étapes de la vie du produit ; depuis la fabrication des intrants nécessaires à la production des aliments des porcs, jusqu'à la conduite de l'élevage proprement dit sur l'exploitation.

Les impacts environnementaux identifiés sont :

- eutrophisation qui correspond à la dégradation de la qualité des écosystèmes aquatiques et terrestres par apport excessif de nutriments ;
- changement climatique ;
- acidification par les polluants acidifiants qui ont une large gamme d'impacts sur le sol, les eaux, les écosystèmes et les bâtiments. ;

- acidification par les polluants dans les sols ;
- utilisation d'énergie ;
- utilisation de surface agricole et l'utilisation de pesticides [INRA, 2004].

Les résultats montrent que si l'on considère l'ensemble des critères environnementaux, aucun des scénarios de production porcine étudiés ne se dégage comme étant optimal en matière de protection de l'environnement, chacun faisant apparaître des points faibles.

Au total, il ressort de ces notions que l'élevage joue un rôle important dans l'amplification du réchauffement climatique par l'émission des GES (méthane, protoxyde d'azote, gaz carbonique). Les bovins en particulier les vaches laitières élevées de façon intensive produisent la grande quantité de méthane émise dans l'atmosphère. Le protoxyde d'azote est issu essentiellement des déjections des animaux. Ces émissions potentialisent les effets des changements climatiques dont les conséquences sur les productions animales sont importantes. Le second chapitre est consacré à l'impact des changements climatiques sur les productions animales.

CHAPITRE II. IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES PRODUCTIONS ANIMALES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

2.1. IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES DIFFERENTS SYSTEMES D'ELEVAGE DES BOVINS

Les élevages africains sont susceptibles d'être affectés à plus large échelle par les problèmes économiques et commerciaux liés aux changements climatiques. L'impact des changements climatiques sur les systèmes d'élevage présente de nombreux effets tels que la productivité et la qualité du fourrage, le stress thermique et l'accroissement de la demande en eau. Le réchauffement climatique pourrait également se traduire par l'augmentation des parasites externes qu'internes et des maladies professionnelles (Trypanosomose, Helminthoses, Tuberculose, Fièvre de la Vallée du Rift,...) et ainsi avoir une incidence sur la santé du bétail.

Toutefois, les systèmes d'élevage ont une importante sensibilité à des facteurs climatiques en termes de production d'aliments et de ses variations et, par conséquent, sur la gestion des pâturages, la qualité de l'alimentation, l'exposition à la chaleur et au froid, et enfin, l'impact des insectes ravageurs et les maladies animales.

En Afrique, la majorité du bétail est rassemblée en troupeaux dans les régions habitées par les nomades, mais une bonne partie est gardée dans des enclos sur les fermes. Les animaux domestiques, notamment les bovins, seront aussi touchés par les changements climatiques. Le stress de chaleur pose aussi un problème dans les régions plus chaudes. Les effets directs sur les animaux domestiques des changements dans la fréquence, la quantité et l'intensité des précipitations et dans la disponibilité de l'eau sont incertains. Toutefois, l'aggravation des sécheresses pourrait avoir de graves effets sur la disponibilité de la nourriture et de l'eau, comme ce fut le cas dans le sud de l'Afrique pendant les sécheresses des années 80 et 90 **[GIEC, 1996]**.

2.1.1. Système extensif

Ce système d'élevage dans lequel plus de 90% de matières sèches pour nourrir les animaux proviennent des parcours, des pâturages, des cultures fourragères annuelles. En termes de production totale, les systèmes de pâturage offrent seulement 9% de la production mondiale de viande [SERE et al., 1996]. Le broutage des animaux est fréquemment associé à un surpâturage, la dégradation des sols et la déforestation. Mais il y a aussi des effets positifs de ce système de pâturage sur l'environnement et cet élevage est la seule source de revenus pour plus de 20 millions de familles pastorales. Ce système extensif traditionnel se caractérise par une faible production avec peu d'entrées et de sorties.

Les systèmes de pâturage sont décrits pour chacune des régions suivantes:

- ❖ Arides,
- ❖ Semi-arides,
- ❖ Sub-humides et humides,
- ❖ Tempérées et tropicales sub-tempérées par altitude.

L'impact sur l'environnement dépend de la capacité de l'élevage de transhumance à trouver des aliments pour animaux (mobile), dépendent des pâturages communautaires locales (sédentaires) ou d'avoir accès à suffisamment d'aliments pour animaux dans les limites de la ferme (élevage et prairies).

Dans la zone sahélienne, les changements climatiques auront un impact négatif sur ce type d'élevage dans ces régions arides et semi-arides où les animaux manqueront les réserves alimentaires suite aux modifications des moyennes des précipitations. Il y a un risque qu'il ait une augmentation significative de l'aridité d'où une expansion des zones touchées par la sécheresse. Dans de telles conditions biophysiques, la densité de la population est relativement élevée et elle exerce une pression surtout sur l'utilisation des terres disponibles dans de nombreux endroits, ce qui a déjà conduit à un surpâturage, à la dégradation importante des sols et à la désertification. La couverture végétale a été dégradée ou détruite, ce qui a

augmenté l'albédo. La dégradation ou l'absence de la couverture végétale réduit l'évaporation, conduisant ainsi à une réduction de la vapeur d'eau dans l'atmosphère et, par conséquent, à la baisse des précipitations [SCHLESINGER et al., 1990].

Selon le **GIEC (2007)**, les simulations prévoient que la température augmentera de 2,6-5,4°C (soit une moyenne de 3,6°C) à la fin du siècle. Les conséquences dans la zone sahélienne ne prévoient pas un changement important dans le régime des précipitations. Toutefois, dans l'Ouest du Sahara, en particulier, les conséquences sont contradictoires, d'une part certains auteurs anticipent sur l'augmentation de la sécheresse et de la dessiccation de la région tandis que d'autres prévoient l'augmentation de l'humidité et l'avance de la végétation dans le Sahara [IPCC, 2007]. L'augmentation prévue de la température annuelle provoquée par le changement climatique conjugué à l'amélioration de la variabilité des précipitations amène à espérer qu'à l'avenir, le couvert végétal pourrait se réduire encore, la régénération ou la création d'une nouvelle végétation sera plus difficile, l'érosion des sols et la désertification vont augmenter [MEA, 2005]. D'autres pertes potentielles de terres arables sont prévues non seulement pour la zone du Sahel, mais pour toute la région au sud du Sahara, ce qui se traduit par une détérioration de la situation de la production alimentaire dans de nombreux pays d'ici 2080 [IPCC, 2007].

Tous ces facteurs pousseront les éleveurs à migrer vers les zones les plus humides et agricoles à la recherche des pâturages fraîches pour leurs animaux. La conséquence majeure sera l'augmentation de la mortalité des animaux, la concurrence entre l'éleveur et les animaux, la dégradation des forêts naturelles, les insécurités liées aux conflits entre les éleveurs et les agriculteurs, les famines et l'augmentation de la pauvreté, et enfin la redistribution géographique des maladies transmises par les vecteurs.

2.1.1.1. Augmentation de la mortalité des animaux

Suite à la raréfaction des pâturages, des ressources en fourrages et la diminution des ressources en eau, les animaux souffriront beaucoup de malnutrition et de la déshydratation. Ils seront confrontés à des épuisements physiques suite à un mouvement de transhumance accéléré. Le rendement en viandes et la production laitière seront tellement faibles. Cela a été observé dans le temps lors des grands mouvements de migration de la population Peuls en Afrique de l'Ouest dans les années 1933 et 1958. Pour le nouveau terroir conquis, le nombre d'animaux augmente surtout les bovins, les moutons et les chèvres **[BERNUS, 1984]**.

L'augmentation des précipitations réduira l'étendue des pâturages du bétail sur le parcours ; surtout que les prairies pourraient devenir des forêts. Il y aura aussi une prévalence des maladies animales ce qui conduirait à la réduction du bétail **[NKOMO et al., 2006]**.



Photo 5: Mortalité des animaux au KENYA

Source: **BARNSTON et al., 1999**

Les précipitations provoquent également des catastrophes se soldant par une grande mortalité des animaux. En effet, durant le sinistre intervenu en janvier 2002 dans la zone sylvo-pastorale du Sénégal, la principale cause des mortalités observées est un ensemble de facteurs climatiques (pluies, vent,

froid). La pluie qui a mouillé le pelage pendant 72 heures accompagnée des phénomènes de conduction, des vents violents a entraîné la mort des animaux (moutons, chèvres, bovins) par hypothermie (diminution de la fluidité sanguine) et par conséquent l'arrêt cardiaque [EKOGA MVE, 2003]. Cela montre que les pluies hors saison peuvent être dangereuses pour la production bovine en système extensif.

2.1.1.2. Concurrence entre éleveur et animaux

La concurrence entre éleveur et animal domestique se manifeste particulièrement en période de disette par un prélèvement excessif de lait, la mortalité des agneaux et cabris de moins d'un an atteint 30 à 35%, et celle des veaux 22 à 54 %. L'homme et son bétail se trouvent également concurrents pour l'exploitation des ressources végétales : les graines sauvages récoltées pour la consommation constituent de bons pâturages et les ramassages collectifs, fournissant un complément alimentaire important, sont menacés par les troupeaux.

2.1.1.3. Dégradation des réserves naturelles

Suite aux mouvements de nomadisme, les éleveurs et leurs animaux risquent de s'implanter dans des réserves naturelles et protégées. La déforestation et les feux de brousse pèsent avec de lourdes conséquences sur le climat. La déforestation occasionne un quart des émissions mondiales de gaz à effet de serre, soit plus que le secteur des transports [WWF, 2007].

2.1.1.4. Conflits entre éleveurs et agriculteurs

La vulnérabilité du Sahel aux changements climatiques est amplifiée considérablement par les crises socio-économiques. Les populations de cette région vivent dans la pauvreté [PNUD, 2007]. Ces conflits sont nombreux et plus fréquents dans les zones où les ressources disponibles (cultures et/ou pâturages) sont faibles par rapport à la demande.

Dans certains pays, l'autorité a défini des conditions ou principes d'exploitation permettant une gestion rigoureuse des aires de culture et de pâturages tout en limitant la fréquence des conflits. Actuellement, avec la diminution des terres cultivables consécutives aux différentes sécheresses, les conflits sont remarquables en zone sahélienne.

De nombreux exemples montrent que la dégradation de l'environnement a, par le passé, déjà contribué à l'instabilité de la région, en particulier en donnant lieu à des différends sur l'utilisation des ressources toujours plus rares. Le principal problème, c'est la désertification par la surexploitation. Ce problème est amplifié par la sécheresse. Peu d'informations sont disponibles pour savoir si le changement climatique a été un moteur important de la dégradation des années 1980 et 90, contribuant aux conflits présents dans la région. Quelques voix, cependant, décrivent les changements climatiques comme la principale cause du conflit du Darfour (Soudan) **[GORE, 2006; FARIS 2007; MAMDANI 2007; MOON 2007; UNEP, 2007]**. Par contre, **KEVANE** et **GRAY (2007)** ont montré que le conflit du Darfour n'est pas lié à une crise climatique bien qu'il soit potentialisé par l'augmentation de la sécheresse.

2.1.1.5 Redistribution géographique des maladies transmises par les vecteurs

Les changements climatiques actuels auront des conséquences importantes sur la santé tant humaine qu'animale même si leur impact reste difficile à évaluer, notamment en rapport avec les modifications de la distribution spatiale de certains vecteurs de maladies infectieuses **[REITER, 2007]**.

Les ravageurs, les maladies et les mauvaises herbes agricoles seront aussi touchés par les changements climatiques, mais peu de recherches quantitatives ont été entreprises à ce sujet en Afrique. Les changements peut-être les plus importants pourraient se produire dans la répartition des populations de mouches tsé-tsé et des vecteurs de maladies humaines

(comme la malaria, qui est transportée par des moustiques). Les infestations de mouches tsé-tsé plafonnent souvent là où le bétail peut être tenu à l'écart des secteurs où l'agriculture à grande échelle est en expansion [HULME, 1996].

En effet, l'apparition des maladies animales telles que l'Influenza aviaire, la fièvre catarrhale du mouton, la dengue, la fièvre hémorragique Ebola, la West Nile et leur redistribution dans d'autres zones géographiques que leurs zones habituelles semblent être liée au phénomène actuel du réchauffement planétaire. Au Sénégal, la borréliose ou fièvre récurrente à tique (*Ornithodoros sp.*) s'est propagée vers le Sud du pays sous l'effet de la sécheresse qui permet à ce vecteur de coloniser de nouvelles zones de savane.

2.1.2. Système semi intensif

Ce système consiste à faire un pâturage artificiel plus la stabulation des animaux. Ce système n'est pas très secoué par les changements climatiques. Avec une bonne gestion des fourrages les animaux seront bien adaptés. On rencontre ce système en Afrique centrale et australe mais la raréfaction des ressources en eau pourra entraver la production. Les effets des changements climatiques seront les mêmes que chez les animaux en système intensif. Ce dernier dépend de l'amélioration locale des techniques d'élevage et de la race. Il est pratiqué pour le veau d'engraissement [DE WIT, 2006].

2.1.3. Système intensif

2.1.3.1. Production des vaches laitières

Les vaches laitières à haute production d'origine tempérée ne peuvent pas extérioriser tout leur potentiel laitier à cause du stress dû à la chaleur et aux aliments de faible qualité. La raison essentielle est que plus la production est élevée plus l'effet négatif de la chaleur est important. Au moins 40% de l'énergie absorbée doit être libérée hors de l'organisme sous forme de chaleur [ORSKOV, 2001]. Dans un milieu chaud et humide, la perte de chaleur en excès des vaches tempérées est limitée à cause du faible pourcentage de la

surface de la peau par rapport au poids. C'est pourquoi, la vache doit diminuer l'absorption des aliments pour résister à la chaleur dans les milieux chauds et humides. De plus, la qualité des aliments, surtout des aliments grossiers est souvent faible. Grâce à la longue sélection des vaches tempérées à haute production nourries avec des aliments riches, la capacité de leur appareil digestif (évaluée selon le pourcentage du poids de l'organisme) est beaucoup plus petite (environ 33%) que celle des vaches tropicales. Donc, même quand il fait frais, elles ne peuvent pas consommer suffisamment d'aliments tropicaux.

La production de lait diminue à cause de la faible qualité et de la quantité insuffisante des aliments absorbés. Tous les animaux ont une gamme de températures ambiantes qualifiée de zone neutre. C'est la gamme de températures qui est propice à la santé et à la performance. La partie supérieure de la température critique est le point où les effets du stress de chaleur commencent à toucher l'animal. Il y a un certain nombre de facteurs environnementaux qui contribuent au stress dû à la chaleur. Il s'agit notamment de haute la température, l'humidité et de l'énergie rayonnante (lumière du soleil). La chaleur peut être définie simplement comme le point où la vache ne peut pas dissiper une quantité suffisante de la chaleur du corps pour maintenir l'équilibre thermique [NGUYEN XUAN TRACH, 2003].

Les conditions environnementales qui provoquent un stress thermique peuvent être calculées en utilisant l'**indice de température - humidité (ITH)**. Il y a un certain nombre d'équations qui ont été utilisées pour calculer l'ITH. Ces équations comprennent généralement la température et l'humidité pour calculer l'ITH.

L'une des équations est:

$$\text{ITH} = \text{Index de Température - Humidité} = T_{\text{bulbe sec}} + (0,36 T_{\text{point de rosée}}) + 42,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Le stress dû à la chaleur commence à se produire chez les vaches laitières quand l'ITH est supérieur à 72. Le tableau VIII présente quelques-uns des signes que manifestent les vaches lorsque l'ITH augmente. Notez que ces légers changements varient le métabolisme et la production de lait de vaches avec de potentiels cas de décès [CHASE, 2006].

Tableau VIII: Effet de la chaleur sur les vaches laitières

ITH	Niveau de stress	Commentaires
< 72	pas	
72 –79	Léger	Les vaches laitières se règlent en recherchant l'ombre, l'augmentation de fréquence respiratoire et dilatation des vaisseaux sanguins. L'effet sur la production de lait est minime.
80 –89	Modéré	La production de salive et la fréquence respiratoire seront augmentées. L'ingestion d'aliments peut être diminuée et la consommation d'eau va augmenter. Il y aura une augmentation de la température corporelle. La production de lait et la reproduction seront diminuées.
90 –98	Sévère	Les vaches vont devenir très inconfortables en raison de la forte température du corps, la respiration rapide (essoufflement) et de la production excessive de salive. La production de lait et la reproduction seront nettement diminuées.
> 98	Dangereux	Un potentiel décès des vaches peut survenir.

Source : CHASE, 2006

L'influence de la chaleur sur la productivité laitière des vaches Holstein a été démontrée dans les lieux d'élevage différents (Tableau IX). Nous remarquons que la productivité laitière baisse si l'IHT augmente.

Tableau IX: Influence du climat tropical sur la production de lait des vaches Holstein

Lieu d'élevage	Indice d'humidité (ITH)	Productivité (kg/vache/jour)
Missouri	54	23
Mexique	73	9
Égypte	69	9
Guyana	77	6

Source : JOHNSON, 1991

CHASE (2006) rapporte que les effets de la chaleur sur les bovins (les vaches laitières) sont les suivants :

- élévation de la température corporelle > à 38°C (101°F);
- augmentation de la fréquence respiratoire > à 70-80 mouvements par minute;
- augmentation des besoins énergétiques d'entretien des vaches laitières permet d'activer les mécanismes pour tenter de dissiper les excès de chaleur et de maintenir la température corporelle constante. L'augmentation de la fréquence respiratoire est un exemple. Le maintien des besoins énergétiques pourrait augmenter de 20-30% chez les animaux sous stress thermique. Cela diminue l'apport d'énergie disponible pour les fonctions productives telles que la production de lait. Le flux sanguin vers la peau va augmenter pour tenter de dissiper la chaleur. Dans le même temps, le flux sanguin vers le cœur de l'organisme diminue.
- utilisation des nutriments dans les aliments - une augmentation de la perte de sodium et de potassium est généralement associée à un stress thermique. Cela est dû à des pertes associées à l'augmentation des mouvements respiratoires. Cela peut déplacer l'équilibre acido-basique et entraîner une alcalose métabolique. Il peut aussi y avoir une diminution de l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs.

- ingestion de matières sèches est en baisse chez les vaches laitières soumises à un stress thermique. Cette dépression de l'ingestion des matières sèches peut être soit à court ou à long terme selon la longueur et la durée de la contrainte thermique. Des diminutions de 10 à 20% sont courantes dans les troupeaux laitiers commerciaux.
- production de lait est normalement en diminution pour les vaches sous le stress thermique. Cette diminution peut être soit transitoire ou à plus long terme en fonction de la durée et la sévérité de la contrainte thermique. Ces diminutions de la production de lait peuvent varier de 10 à plus de 25%. Si le stress thermique réduit la production de lait en début de lactation des vaches laitières, la production laitière potentielle pour l'allaitement sera diminué. Les vaches laitières en fin de lactation peuvent récupérer lentement des effets du stress thermique.
- reproduction – Il a également été signalé que le stress dû à la chaleur diminue les performances de reproduction chez la vache laitière. Il y a un certain nombre de changements dans les performances de reproduction qui ont été rapportées. Les effets sur la reproduction peuvent être prolongés. Ceux-ci comprennent:
 - diminution de la durée et l'intensité de la période de l'œstrus,
 - diminution de la fécondité,
 - diminution de la croissance, la taille et le développement des follicules ovariens,
 - augmentation des risques de mortalité embryonnaire précoce,
 - diminution de la croissance du fœtus et de la taille du poumon.

2.2. IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION PORCINE

La production mondiale de viande de porc continue d'augmenter, parallèlement à la consommation, et cet accroissement nécessaire concerne surtout des pays en développement. Une des principales conséquences de cette évolution est une intensification des systèmes de production dans ces

régions, avec la généralisation de l'importation de lignées commerciales très productives en provenance d'Europe ou d'Amérique du Nord. Dans la plupart des cas, ces lignées ont été sélectionnées dans un environnement optimal permettant de maximiser les performances en minimisant l'effet de l'environnement climatique sur l'expression du potentiel de production des animaux.

Dans les régions tempérées, malgré une amélioration des caractéristiques des bâtiments d'élevage (isolation, ventilation), l'augmentation de la température ambiante au cours de certaines périodes de l'année entraîne une perte économique importante pour l'éleveur. Dans un travail de modélisation, **ST-PIERRE et al., (2003)** estimaient cette perte à environ 310 millions de dollars par an pour la filière porcine américaine.

Lorsque la contrainte climatique est forte, l'optimisation des performances des porcs nécessite d'adopter des conduites alimentaires particulières (aliments concentrés en énergie ou à faible extra-chaleur) ou d'investir dans des systèmes de refroidissement coûteux (cooling, brumisation) difficilement transposables économiquement ou techniquement dans la plupart des régions tropicales.

2.2.1. Effets de la chaleur sur les performances des porcs

2.2.1.1. Truie en lactation

La truie est particulièrement sensible à l'augmentation brusque de la température ambiante à la mise bas. **D'ALLAIRE et al., (1996)** rapportent une mortalité des truies cinq à six fois plus importante, dès lors que la température de la maternité dépasse 33°C au moment de la mise bas, d'après une enquête portant sur plus de 30 000 truies. La truie en lactation est particulièrement sensible aux températures ambiantes élevées, ce qui est dû à niveau d'ingestion élevé pour satisfaire les besoins nutritionnels associés à sa production laitière [**RENAUDEAU et al., 2004**]. **QUINIOU et NOBLET (1999)** montrent qu'au dessus 25°C la truie a la seule option de réduire sa consommation d'aliment pour maintenir son homéothermie. La réduction de la

consommation due à la chaleur accentue le déficit nutritionnel de la truie. En dessous de 25°C, la mobilisation des réserves corporelles permet de maintenir la croissance des porcelets et la production de lait en compensant la réduction de la consommation. Au-dessus de 25°C, la mobilisation des réserves n'est plus suffisante pour compenser la baisse de l'appétit et la production laitière et la vitesse de croissance des porcelets diminuent **[QUINIOU et NOBLET, 1999]**. En plus de son effet sur la consommation alimentaire, il semble que la température ambiante ait également un effet direct sur le métabolisme de la glande mammaire via une redistribution du flux sanguin vers la peau au détriment de la mamelle **[BLACK et al., 1993]**.

Cependant, des mesures du débit artériel et des prélèvements mammaires montrent que cette vasodilatation sous-cutanée ne se ferait pas au détriment du fonctionnement de la mamelle chez les truies multipares **[RENAUDEAU et al., 2003]**. La création de lignées hyperprolifiques dans les races Large White et Landrace puis l'arrivée des lignées sino-européennes ont eu comme conséquence une augmentation de la production laitière et des besoins nutritionnels des truies en lactation. Cet accroissement du potentiel de production s'est accompagné d'une augmentation (moins importante) de la consommation d'aliment et de la production de chaleur métabolique. Nous pouvons donc supposer que l'amélioration de la prolificité des truies s'est traduite par une sélection indirecte d'animaux plus sensibles à la chaleur.

2.2.1.2. Truie en gestation

L'exposition à la chaleur a peu de conséquence sur leur métabolisme du fait du faible niveau d'alimentation des truies en gestation (rationnées à 1,3 - 1,5 fois leur besoin d'entretien). Elle a en revanche des effets marqués sur la fonction de reproduction. D'importantes variations saisonnières des performances de reproduction (intervalle sevrage-œstrus, taux de conception, mortalité embryonnaire) sont rapportées en climat tempéré **[PELTONIEMI et al., 2000]** et tropical **[KABUGA et ANNOR, 1991]**. Ces problèmes peuvent avoir plusieurs origines. L'allongement de l'intervalle entre le sevrage et

l'œstrus dépend principalement de l'amplitude de la mobilisation des réserves et donc de l'adéquation entre le niveau d'ingestion et les besoins nutritionnels pour la production laitière. Sur ce point, les truies primipares semblent beaucoup plus sensibles que les truies multipares [QUESNEL et PRUNIER, 1995].

Cependant, l'augmentation de la durée d'éclairement au cours de la saison estivale est aussi un facteur expliquant les retards dans le retour en œstrus en été [PRUNIER et al., 1996]. La réduction de la fécondité et l'augmentation de la mortalité embryonnaire en saison estivale semblent être la conséquence directe d'une forte température dans le mois suivant la saillie [ENNE et GREPPI, 1993], mais également des effets du climat sur les performances du verrat.

2.2.1.3. Verrat

Des travaux menés en milieu tempéré [GUILLOUET et al., 1999] ou tropical [STEINBACH, 1976] montrent que les performances de reproduction des verrats varient en fonction de la saison. Mais, comme pour la truie gestante, l'effet d'une température élevée sur le métabolisme du verrat est sans doute faible compte tenu de sa température critique inférieure élevée (environ 20°C,) KEMP et al., 1989], en relation avec son niveau alimentaire proche de celui de l'entretien. La température aurait un effet direct sur la spermatogenèse via une modification de la synthèse de testostérone [WETTMANN et BAZER, 1985]. Cette altération de la spermatogenèse entraîne une diminution de la mobilité et une augmentation des anomalies morphologiques des spermatozoïdes ; le volume d'éjaculat ne semble pas affecté [WETTMANN et al., 1979].

Par ailleurs, le taux de conception est significativement réduit chez les truies inséminées avec de la semence provenant de verrats préalablement exposés à une température élevée [WETTMANN et al., 1979]. Une partie de la réduction du taux de conception des truies en saison chaude pourrait donc être attribuée à une diminution de la fertilité des verrats.

2.2.1.4. Porc en croissance

Les effets du climat, et en particulier des températures ambiantes élevées, sur les performances du porc en croissance alimenté à volonté sont bien décrits dans la bibliographie [RINALDO et LE DIVIDICH, 1991 ; QUINIOU et *al.*, 2000b]. Comme pour la truie en lactation, la réduction de l'appétit est une des principales conséquences de l'augmentation de la température. En moyenne, cette réduction de la consommation est de 40 à 80 g/jour par °C pour des températures maintenues artificiellement constantes entre 20 et 30°C [COLLIN, 2000] et de 16 à 56 g/jour par °C chez des porcs élevés dans un bâtiment semi-ouvert en région tropicale [RINALDO et *al.*, 2000].

2.2.2. Méthodes permettant d'atténuer les effets de la chaleur

2.2.2.1. Modifications de la conduite d'élevage

En effet, on peut envisager de concentrer l'aliment et/ou de réduire son extra-chaleur. Il a été testé chez le porc en croissance élevé au chaud : l'indice de consommation est amélioré, mais les effets sur la consommation d'énergie et la vitesse de croissance sont négligeables [STAHLY et CROMWELL, 1979 ; LE BELLEGO et *al.*, 2002]. Des techniques permettant de rafraîchir les animaux ou l'ambiance des bâtiments d'élevage peuvent atténuer les effets de la température. L'utilisation de goutte à goutte sur la tête ou les épaules des animaux augmente les pertes de chaleur par la voie latente.

2.2.2.2. Sélection d'animaux adaptés au climat

Cette approche consiste à produire des animaux dont les performances ne sont pas ou sont peu réduites par une température élevée. Il s'agit donc de modifier le seuil de sensibilité à la chaleur et/ou d'améliorer l'efficacité de la thermorégulation (i.e. réduction de la thermogenèse et/ou augmentation de la thermolyse). Deux grands types d'adaptation peuvent être considérés : l'adaptation non génétique ou acclimatation, et l'adaptation génétique.

L'acclimatation représente la capacité de l'animal à ajuster son métabolisme ou son comportement au cours du temps pour mieux tolérer une température élevée. Ces ajustements font appel à des réponses coordonnées à différents niveaux d'organisation (structurale, organique, cellulaire et moléculaire) et provoquent des modifications de l'expression de certains gènes, d'activités enzymatiques, de taille d'organe, de dépôt de tissus ou de consommation d'énergie [COLLIER *et al.*, 2002].

L'adaptation à la chaleur est un processus de type biphasique. Dans un premier temps, l'adaptation se caractérise par une stimulation rapide par le système nerveux autonome des effecteurs permettant d'augmenter la dissipation de la chaleur (glandes sudoripares, vaisseaux sous-cutanés...). Dans un second temps, la production de chaleur est réduite en augmentant l'efficacité du fonctionnement des organes et/ou en diminuant la prise alimentaire.

La chaleur est l'un des principaux facteurs environnementaux affectant les performances de croissance et de reproduction du porc. Ses effets dépendent du stade physiologique de l'animal, de l'hygrométrie ambiante et, plus généralement, de la conduite d'élevage. En réponse à un stress thermique de longue durée, les porcs réagissent en diminuant ou déviant leur métabolisme énergétique et en augmentant les échanges de chaleur avec leur environnement. Pour atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs, la solution la plus simple et la plus rapide consiste à modifier l'environnement thermique autour des animaux.

D'autres solutions basées sur l'utilisation d'aliment à faible extra-chaleur peuvent également être appliquées. Cependant ces méthodes sont coûteuses et souvent mal adaptées aux conditions d'élevage tropicales, surtout lorsque l'on cherche à valoriser des matières premières locales, riches en fibres. Une alternative serait de pouvoir disposer d'animaux thermotolérants. Cette approche nécessite au préalable de comprendre les mécanismes physiologiques impliqués dans l'adaptation à la chaleur et la nature des antagonismes entre les caractères d'adaptation et de production. Cette

première étape doit contribuer au choix des objectifs et des critères de sélection. Bien que peu de résultats soient disponibles dans la bibliographie concernant le porc, des indicateurs de la sensibilité à la chaleur, de la thermogenèse ou de la thermolyse pourraient être de bons critères à sélectionner pour l'obtention d'une lignée adaptée à la chaleur [96] **[RENAUDEAU et al., 2003]**

2.3. IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION AVICOLE

Comme tous les homéothermes, les oiseaux ont besoin pour vivre, de maintenir leur température interne constante. Cette dernière évolue en fonction de la température ambiante vécue par l'animal de sorte que des températures élevées de 35-40°C se traduisent presque irrémédiablement par une hyperthermie souvent mortelle. Pour que la température corporelle des volailles soit maintenue constante, la chaleur qu'elles produisent par les activités physiques et des réactions biochimiques dans l'organisme, doit être éliminée. Classiquement, cette perte de chaleur totale est divisée en deux parties : d'une part la chaleur sensible représentée par 70% des calories évacuées et d'autre part la chaleur latente de 30% dite liée qui est éliminée par la respiration.

Par exemple, les températures ambiantes optimales pour la phase de finition des poulets de chair (4-6 semaines) se situent entre 20 et 25 °C **[MCNAUGHTON, 1982 ; YAHAV, 1998]**. Une augmentation de la température ambiante de 20 à 35 °C peut réduire la vitesse de croissance de 20 à 25% **[YAHAV et al., 1996]** et un « coup de chaleur » brutal à plus de 36 °C peut tuer près de la moitié de poulets en moins de 3 heures **[TEETER et al., 1985]**.

Les génotypes de volailles maigres ou gras ne présentent pas de différence significative de production de chaleur à jeun **[MAC LEOD et GERAERT, 1988]** et l'excès de gras pourrait entraver la thermolyse.

Avec l'augmentation de température ambiante, les volailles réduisent leur thermogenèse et augmente leur thermolyse. Les réactions spécifiques

des oiseaux intéressent les rythmes cardiaque et respiratoire, l'ingéré énergétique et l'activité physique.

2.3.1. Augmentation de la fréquence cardiaque

À partir d'une température ambiante de 23°C, la volaille diminue sa production de chaleur c'est-à-dire la thermogenèse, en réduisant la consommation alimentaire et en limitant ses déplacements.

Mais dès qu'on atteint 26°C de température ambiante, il y a élévation de la température corporelle de 41,5° à 42,5°C ce qui entraîne à la fois une augmentation du rythme cardiaque et de la fréquence respiratoire qui se stabilisent respectivement à 350 cycles et 50 inspirations par minute.

L'augmentation de la fréquence cardiaque s'accompagne de la dilatation des vaisseaux sanguins périphériques avec augmentation de la circulation sanguine au niveau de la crête, des barbillons, de la trachée et surtout de la peau dont le flux sanguin est multiplié par 7. Les organes internes ne sont pas irrigués, or ce sont eux qui transforment l'aliment pour la satisfaction des besoins de production. Il y a donc une réduction de l'absorption intestinale d'où baisse de la digestibilité alimentaire.

Mais entre temps, cette vasodilatation permet d'accroître la perte de chaleur par la peau et l'accroissement de la consommation de l'eau d'où le gonflement de la crête et des barbillons. Ce réflexe physiologique améliore les déperditions de chaleur au niveau de ces organes.

2.3.2. Augmentation du rythme respiratoire

À partir de 29°C avec une hygrométrie élevée la température corporelle atteint 44°C. L'augmentation du rythme cardiaque ne suffit plus à baisser la fièvre vécue par le poulet.

Un deuxième phénomène se met en place, c'est l'augmentation de la fréquence respiratoire qui atteint 140 à 170 inspirations par minute voire 300 inspirations par minute [ZHOU et YAMAMOTO, 1997] quand la température dépasse plus 36°C [PEREZ et al., 2006]. L'animal maintient le bec ouvert, on

dit qu'il halète : c'est l'hyperventilation pulmonaire ou halètement encore appelé effet Panting.

Cela conduit à la modification de l'équilibre acido-basique sanguin et une alcalose dite respiratoire [MARDER et ARAD, 1989] avec des pertes urinaires de bicarbonate de calcium.

En phase finale la température interne du poulet atteint 46-47°C, son rythme cardiaque passe de 500 à 600 cycles par minute et la fréquence respiratoire atteint sa limite à 200 inspirations par minute. L'animal meurt alors d'hyperthermie, alcalose respiratoire, arrêt cardiaque ou par arrêt respiratoire.

2.3.3. Activités physiques des animaux

Parallèlement à l'hyperventilation (évaporation pulmonaire), les oiseaux en hyperthermie maintiennent les ailes écartées et les plumes ébouriffées pour dissiper un maximum de calories. Leurs déplacements sont limités au strict minimum. Ils recherchent seulement les endroits ventilés et « ombragés » dans le bâtiment. Si la température ambiante ne baisse pas, arrive la phase de coma au cours de laquelle les animaux cessent toute activité. Ils « plantent » le bec dans la litière et restent en prostration thermique.

2.3.4. Ingéré énergétique

La volaille baisse son ingéré énergétique. Cette modification de comportement est la preuve que les volailles s'adaptent très vite à un excès de chaleur. Cette réduction de l'ingéré s'explique par une baisse des besoins d'entretien mais surtout, les oiseaux réduisent leur ingéré en énergie pour maintenir leur température interne compatible avec la vie et ce d'autant que l'extra-chaleur consécutive à l'ingestion des aliments est augmentée sous des climats chauds.

La baisse de la consommation alimentaire atteint 5% par degré supplémentaire au-delà de 30°C surtout aux heures les plus chaudes de la journée [BOUVAREL, 1997].

2.3.5. Conséquences de la chaleur sur les performances zootechniques des volailles

Chez les poulets de chair, la chaleur excessive surtout pendant la période de finition des poulets, se traduit souvent un désastre économique car elle entraîne des mortalités importantes. Durant la croissance et l'engraissement, la réduction de la consommation alimentaire engendrée par l'excès de chaleur entraîne une baisse des performances de croissance avec toutes fois des variations liées aux souches.

Ainsi, d'après **GERAERT (1993)**, les poulets « gras » ont une croissance plus significativement ralentie que les poulets « maigres » face à la chaleur et pour une réduction identique des consommations alimentaires. Mais la réduction de l'ingéré alimentaire n'est que partiellement responsable du net ralentissement de la croissance.

2.3.6. Solutions pratiques pour lutter contre la chaleur

2.3.6.1. Moyens zootechniques

En élevage des volailles, il est possible par des actions efficaces de limiter les effets négatifs des excès de chaleur sur les volailles. Les actions peuvent être conduites principalement dans quatre directions : la conception et la réalisation des bâtiments d'élevage, le choix judicieux des souches à produire, l'adaptation de l'alimentation aux conditions des zones chaudes et les techniques d'élevage.

Les bâtiments d'élevage doivent être bien conçus et réalisés pour aider à atténuer les conséquences de la chaleur sur les volailles. Les bâtiments largement ouverts facilitent la circulation de l'air.

Le choix des souches est une bonne mesure, car les poulets à croissance lente supportent mieux la chaleur que les poulets à croissance rapide. Il est souhaitable de choisir les animaux connus qui sont particulièrement résistants à la chaleur.

Concernant l'alimentation, il est bon de rappeler que l'ingestion, la digestion et l'utilisation métaboliques des aliments ont un effet thermogénique. Il a été démontré que l'un des moyens pour atténuer l'effet néfaste des températures élevées est l'alimentation calcique séparée [**MONGIN et SAUVEUR, 1975 ; PICARD et al., 1986 ; UZU, 1989**].

L'alimentation calcique séparée consiste à offrir séparément à la poule un régime appauvri en calcium en plus d'une source de calcium sous forme de particules reconnaissables telles que des coquilles d'huîtres pilées ou des granulées, permettant ainsi à la poule d'ajuster elle-même sa consommation calcique en fonction de ses besoins [**BANGA-MBOKO, 2003**]

Les autres perspectives d'améliorations sont nombreuses et variées, nous pouvons citer l'alimentation libre choix avec une alimentation dite « séparée » qui consiste à recourir à des céréales qui sont servies aux animaux avec à côté une mangeoire contenant un composé minéral vitaminisé et azoté.

Selon **JAOVELO (2007)**, l'utilisation d'une supplémentation alimentaire en *Volihot* (mélange de vitamines et d'oligo-éléments anti-oxydants) améliore les performances des poulets de chair en période de stress thermique. En effet, les oiseaux traités par le *Volihot* sur toute la durée de l'élevage ont vu leur croissance améliorée (soit 949g à 4 semaines d'âge). Il a montré également une diminution du taux de mortalité et une amélioration de la consommation et l'efficacité alimentaire. Les mêmes résultats ont été obtenus par **NDAM (2007)** après l'utilisation d'un autre produit soluble dans l'eau, le *Volilyt+* composé du bicarbonate de sodium, du chlorure de potassium, de la vitamine C et de la vitamine E.

L'emplacement de la fraction glucidique de l'aliment par des graisses alimentaires, pour réduire la production d'extra chaleur ; car les lipides ont un meilleur rendement que les glucides.

La dilution énergétique des aliments en utilisant par exemple des sons de céréales. La teneur en protéines brutes de l'aliment dont il faut éviter d'accroître le niveau. L'eau de boisson est à distribuer à volonté et de bonne

qualité, pour compenser les pertes d'eau par déshydratation sous l'effet de la chaleur.

Les techniques d'élevage permettent de prévenir des mortalités par hyperthermie. En effet, une adaptation précoce des volailles à la chaleur les aide à mieux supporter en finition, tout accroissement de la température ambiante.

Selon **De BASILIO et PICARD (2002)**, la capacité de survie des poulets à un coup de chaleur est augmentée par une acclimatation par l'exposition à une température élevée de 36 à 40°C [**DE BASILIO et al., 2003**] pendant 24 h à l'âge de 5 jours, sans diminuer significativement la mortalité lors d'un coup de chaleur à la 6^{ème} semaine [**ARJONA et al., 1988**].

Des études ont révélé que les rythmes d'éclairage pouvaient avoir une influence sur la résistance à la chaleur ; par exemple, une alternance régulière de 7 heures d'éclairage avec 7 heures d'obscurité permet d'augmenter le gain de poids lors de l'exposition au chaud [**TEETER et al., 1989**]. La réduction de la densité est aussi préconisée ainsi que la quantité de la litière. Enfin, l'ajout des tonicardiaques (aspirine, vitamine C,...) dans l'eau de boisson permet d'atténuer les effets néfastes de la chaleur.

2.3.6.2. Moyens médicamenteux

- **Vitamine C**

Son utilisation dans la lutte contre la chaleur donne des résultats non significatifs entre le lot témoin qui ne reçoit pas la vitamine C et les lots traités à la vitamine C, sur le plan de l'ingéré alimentaire. Par contre, on note une amélioration du GMQ chez les oiseaux traités par rapport au lot témoin, et une amélioration de l'indice de consommation qui passe de 2,3 pour le lot témoin à 1,8 pour les lots traités [**KASSIM et NORZIHA, 1995**].

L'utilisation de la vitamine C pendant un stress thermique limite l'augmentation de la température corporelle chez le poulet de chair.

- **Vitamine E et D3**

Les besoins en vitamine E augmente pendant le stress thermique [CHEVILLE, 1977] ; la vitamine E joue un rôle d'antioxydant physiologique par inactivation des radicaux libres, et contribue au maintien de l'intégrité des cellules endothéliales. Le stress thermique interfère avec la conversion de la vitamine D3 sous sa forme active, étape importante pour le métabolisme du calcium [SCOTT, 1966].

- **Sels**

Les sels trouvent leur utilisation dans la lutte contre l'alcalose, en particulier, le bicarbonate de calcium et le chlorure d'ammonium, [TEETER et SMITH, 1986]. Le principe consiste à administrer dans l'eau de boisson certains sels de manière à limiter l'augmentation de pH sanguin pendant la lutte contre le chaud, et à accroître la quantité d'eau ingérée puisque l'on modifie également la pression osmotique plasmatique. La lutte contre l'alcalose et un abreuvement suffisant favorisent la croissance et diminuent la mortalité. L'utilisation en association du bicarbonate de sodium avec le chlorure d'ammonium donne des résultats satisfaisants lorsque les doses sont respectées comme le soulignent certains auteurs [BOTTJE et HARRISON, 1985].

- **Anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS)**

Le mécanisme d'action des AINS réside dans une interférence avec la synthèse des prostaglandines, facteurs intervenant entre autres au niveau des centres de thermorégulation pour entraîner une hyperthermie.

L'**aspirine** (acide acétylsalicylique) peut être utilisée seule ou associée à la vitamine C (acide ascorbique) dans la lutte contre la chaleur. Mais il n'y a pas de différence significative entre les sujets traités et les témoins [KAFRI et CHERRY, 1984 ; STILBORN et al., 1987].

La **Flunixin** donne des résultats plus nets lorsqu'il est administré à des doses variant de 1 à 10 mg/l d'eau pendant 3 jours avant l'exposition à la

chaleur. Ainsi on note une diminution de la mortalité, la température centrale augmente moins et le gain de poids est partiellement restauré. La consommation d'eau augmente aussi très nettement (de 100 à 300 ml de plus) ce qui expliquerait sans doute son effet supérieur à celui de l'aspirine [BIRRENKOTT et OLIVIER, 1981 ; EDENS et CAMPBELL, 1985].

2.4. IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES PRODUCTIONS HALIEUTIQUES

La pêche dans les eaux intérieures et en mer procure une part importante des protéines consommées dans de nombreux pays. Mais, peu de recherches ont été achevées sur les impacts des changements climatiques sur la pêche en eau douce et de l'aquaculture. La pêche maritime dans le monde, par contre, est menacée par la surexploitation. Selon les données de la **FAO (2006)** plus de 7 millions de tonnes sont exploités chaque année en Afrique. Les changements climatiques seront un stress supplémentaire [HOBDAY et MATEAR, 2005] à cette surexploitation des poissons. Les variables les plus impliquées sont les changements de la température des océans, les courants marins, le phénomène El Niño (ENSO), les vents, l'acidification de l'eau et les changements des précipitations.

Globalement, les futurs impacts des changements climatiques sont susceptibles d'être plus élevés pour les espèces endémiques tempérées que pour les espèces tropicales [FRANCIS, 1994 ; 1996]. Ces impacts seront aussi observés sur les espèces démersales côtières et les espèces pélagiques [HOBDAY et MATEAR, 2005]. Les variations de la température de la surface de la mer ou les courants sont susceptibles d'affecter la distribution de plusieurs espèces pélagiques commerciales comme le thon.

En conclusion, les changements climatiques affectent négativement la croissance et la productivité des animaux d'élevage. Leurs impacts sont considérables et il serait important pour les éleveurs d'appliquer les moyens de lutte contre le stress thermique efficaces même si nombreux d'entre eux les trouvent moins rentables.

2.5. ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTS SYSTEMES DE PRODUCTION FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Tableau X: Comparaison des différents systèmes d'élevage des bovins face aux changements climatiques

		Système intensif	Système semi-intensif	Système extensif
AVANTAGES	Zootechnique / Sanitaire	<ul style="list-style-type: none"> - Animaux d'élevage amélioré - bâtiments bien adaptés - bonne condition d'élevage - un bon rationnement - utilisation des biotechnologies - Maîtrise des pathologies 	<ul style="list-style-type: none"> - pâturage artificiel - stabulation incomplète - complémentation des animaux à la ferme - amélioration de la production (lait et viande) - introduction de la biotechnologie (Insémination artificielle) - amélioration de la santé des animaux (soins vétérinaires) - Amélioration des techniques de l'élevage 	<ul style="list-style-type: none"> - élevage de races locales pures et résistantes aux maladies (trypanosomoses chez la race NDAMA)
	Economique	<ul style="list-style-type: none"> - haute productivité - élevage très rentable 	<ul style="list-style-type: none"> - Source de revenus pour plus de ménages - productivité moyenne 	<ul style="list-style-type: none"> - source de revenus pour plus de 20 millions de familles pastorales
	Ecologique / changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> - pas de dégradation des sols et de déforestation 	<ul style="list-style-type: none"> - faible dégradation des sols - définition et amélioration des parcours - faible pollution de l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> - bien adapté aux zones arides africaines - faible production des gaz à effet de serre (N₂O, CH₄)
INCONVENIENTS FACE AUX CC*	Zootechnique / Sanitaire	<ul style="list-style-type: none"> - Les vaches laitières très sensibles à la chaleur - baisse de la production du lait et du métabolisme (baisse de l'ingéré énergétique) - baisse des performances 	<ul style="list-style-type: none"> - métissage incontrôlé des animaux surtout en Insémination artificielle paysanne - faible adaptation des méteils aux conditions arides 	<ul style="list-style-type: none"> - Surpâturage - transhumance et divagation - alimentation sans complémentation
	Economique	<ul style="list-style-type: none"> - baisse de productivité due au stress thermique - taxe sur la gestion des déjections - manque d'aliments (céréales) 	<ul style="list-style-type: none"> - stabulation coûte chère aux éleveurs traditionnaires - peu de moyens pour s'approvisionner en concentré 	<ul style="list-style-type: none"> - faible productivité - forte mortalité des animaux en cas d'événements extrêmes (cyclones, pluies torrentielles,...)
	Ecologique / changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> - production intensive des gaz à effet de serre (CH₄ : 90 kg/vache/an) - pollution de l'eau par les déchets (Azote et le phosphore) et les résidus des médicaments 	<ul style="list-style-type: none"> - production des gaz à effet de serre considérable 	<ul style="list-style-type: none"> - dégradation des sols - déforestation - augmentation de la sécheresse (désertification) - manque d'eau - migration - augmentation de la mortalité des animaux - concurrence entre éleveurs et les animaux - insécurité - famine et pauvreté - redistribution des maladies vectorielles (trypanosomoses, ...)

*CC : Changements climatiques

D'après le tableau X, l'élevage extensif beaucoup pratiqué en Afrique serait mieux adapté aux changements climatiques même si son impact sur l'environnement est non négligeable. Le système intensif offre une marge économique considérable de part sa grande productivité en lait et en viande, il reste la base de l'économie de nombreux pays.

En Afrique, il serait mieux d'intégrer le système semi-intensif, car il offre plusieurs avantages notamment en matière de l'amélioration de la race par l'insémination artificielle et une bonne alimentation par la complémentation en concentrés. La productivité est aussi élevée par rapport à l'élevage extensif où les animaux sont usés par les parcours longs durant la transhumance pour la recherche des points d'eau et des pâturages.

Mais, les vaches laitières élevées en système intensif produisent une grande quantité de gaz à effet de serre mais plusieurs mesures de limiter cette pollution atmosphérique ont été envisagées.

Tableau XI: Comparaison des productions porcine et avicole face aux changements climatiques

		Porcs	Volaille
AVANTAGES	Zootechnique / Sanitaire	<ul style="list-style-type: none"> - Forte productivité - haute performance (fertilité, fécondité,...) - sélection des animaux adaptés à la chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> - souches adaptés à la chaleur (cou-nu, poules naines) - aliments avec des tonocardiaques (vitamines, aspirine,...) - favoriser la souche locale plus résistante
	Economique	<ul style="list-style-type: none"> - Productivité élevée (viandes) 	<ul style="list-style-type: none"> - production sur une courte période (35 à 50 jours pour les poulets de chair) - production des œufs de consommation à moindre coût
	Ecologique / changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> - fertilisation des sols par le lisier 	<ul style="list-style-type: none"> - production quasi nulle des gaz à effet de serre
INCONVENIENTS EN CAS DE CC*	Zootechnique / Sanitaire	<ul style="list-style-type: none"> -Truie : Sensible à la chaleur à la mise bas avec une réduction de la consommation alimentaire - Baisse des performances - réduction de la fécondité - augmentation des pathologies 	<ul style="list-style-type: none"> - Volailles très sensibles à la chaleur - baisse des performances
	Economique	<ul style="list-style-type: none"> - perte par mortalité des animaux 	<ul style="list-style-type: none"> - perte des animaux par mortalité cardiaque en cas de coup de chaleur
	Ecologique / changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution de l'environnement - Les odeurs de voisinages - Eutrophisation - l'acidification par les polluants - l'utilisation d'énergie - Production importante de N₂O et du CH₄ 	<ul style="list-style-type: none"> - pollution de l'environnement par les déjections (N₂O)

*CC : Changements climatiques

2.6. PERSPECTIVES DE RECHERCHE EN AFRIQUE

Les interrelations entre les changements climatiques et les productions animales montrent :

- d'une part, la contribution des élevages dans la potentialisation du réchauffement climatique par leurs émissions de gaz à effet de serre notamment le méthane (CH₄), le gaz carbonique (CO₂) et le protoxyde d'Azote (N₂O) ;
- d'autre part, l'impact des changements climatiques sur les élevages est étroitement lié à la sensibilité et à la vulnérabilité des systèmes d'élevage. Le stress thermique reste l'effet le plus important.

Vu les recherches précédemment réalisées, il est souhaitable de poursuivre les recherches et de les renforcer à tous les niveaux en Afrique.

Chez les bovins, il serait important de :

- montrer les impacts des élevages traditionnels sur l'environnement dans les zones tropicales,
- faire une étude de l'impact du réchauffement climatique sur les élevages intensifs dans les zones tropicales sèches,
- faire une étude comparée de l'effet de la chaleur sur les vaches locales en comparaison avec les vaches métisses issues de l'IA et des vaches exotiques pures,
- faire une étude pour quantifier la pollution due aux déjections des élevages sur l'environnement (eaux des nappes phréatiques),
- faire des études avancées sur de nombreuses molécules bactéricides qui ciblent les bactéries captant l'hydrogène pour produire du méthane comme les extraits d'ail, de piment, de yucca et de cannelle, de rhubarbe et de bourdaine, sérum de luzerne qui peuvent diminuer significativement la méthanogénèse.

Chez les porcs, il serait important de :

- faire une étude sur l'impact de la production intensive des porcs sur l'environnement en zone tropicale humide, semi-humide et sèche,

- faire une étude sur la gestion des déjections des élevages porcins et l'impact des composés azotés (nitrates, nitrites) sur l'environnement,
- étudier les mesures d'adaptation des porcs aux conditions arides et sèches en milieu chaud et humide.

Chez les volailles, il serait important de :

- faire des études sur l'utilisation des additifs alimentaires (vitamines, tonicardiaques,...) pour la lutter contre la chaleur chez les poules pondeuses et les poulets de chair,
- faire des études pour la sélection des souches mieux adaptées aux conditions tropicales,

Toutefois, le autre point important est lié à la santé publique et à l'épidémiologie. Il faudrait faire des études sur les nouvelles répartitions des maladies animales en zone tropicale et tempérée (infectieuses, parasitaires, zoonotique) et surtout alerter les autorités en cas de nouvelles menaces, pour mieux protéger les hommes et les animaux. Un accent particulier devrait être mis sur la prévention des zoonoses et des maladies professionnelles.

A l'avenir, les autorités devraient mettre en place les stratégies d'adaptation et des mesures de mitigation à tous les niveaux pour s'adapter aux changements climatiques et à faciliter un large éventail de réponses afin de limiter leurs impacts négatifs.



CONCLUSION GENERALE

Les changements climatiques sont dus à des variations des températures terrestres en surface qu'en atmosphère. Leur impact sur les élevages conduit à la baisse de performances des animaux et fragilise leur santé. Leur origine ne s'explique pas seulement par la variabilité naturelle du climat qui est soumise à différents facteurs tels que l'insolation, albédo, cycles de Milankovic et le phénomène El niño/ Oscillation australe (ENSO).

L'objectif principal de notre étude est de rassembler et de synthétiser les connaissances actuelles sur les interrelations entre les changements climatiques et les productions animales.

De façon spécifique, il s'agit de faire l'état de lieu du rôle de l'élevage dans le réchauffement de la Terre et de l'impact des changements climatiques sur les productions animales ; et enfin de dégager quelques perspectives de recherche en Afrique.

Au cours du siècle dernier, l'augmentation moyenne des températures terrestres à la surface des sols et au niveau des océans a été de $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$; les températures atmosphériques quant à elles, ont augmenté de $0,05 \pm 0,10^{\circ}\text{C}$ dans les 8000 m les plus bas, et de $0,15 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$ vers la surface. Les conséquences des changements climatiques sont la modification du régime des précipitations associée aux pluies torrentielles, inondations, augmentation du niveau des océans, fonte des glaciers, ouragans, sécheresse, dégradation des ressources naturelles, disparition de certains biomes, etc.

Aucun continent ne sera épargné par le processus des changements climatiques mais la vulnérabilité et la sensibilité diffère d'une zone géographique à une autre. Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a proposé plusieurs scénarios d'adaptation par continent.

Les variations des températures sont imputables à l'origine humaine. En effet, depuis l'installation des industries lourdes au XIX^{ème} siècle, les concentrations des gaz à effet de serre naturels tels que le gaz carbonique (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'Azote (N_2O) ainsi que les gaz à effet

de serre industriels incluant des gaz fluorés inscrits à l'annexe 1 du protocole de KYOTO, ont augmenté considérablement. Cela amplifie le phénomène de l'effet de serre et augmente le forçage radiatif. Ces gaz à effet de serre proviennent de plusieurs secteurs notamment l'industrie du pétrole, le transport, les centrales énergétiques, l'élimination et le traitement des déchets, la combustion de biomasse, l'exploitation des terres et les productions animales.

Le secteur de l'élevage est une source de pollution d'origine terrestre, émettant des éléments nutritifs, de matières organiques, d'agents pathogènes et de résidus de médicaments dans les rivières, les lacs et les eaux côtières. Il contribue au réchauffement climatique par l'émission des gaz à effet de serre et est responsable de l'émission de 1% de CO₂, et respectivement de 50 et 30% du protoxyde d'Azote et du méthane. L'élevage intensif des bovins produit de très grandes quantités de ces deux derniers gaz ainsi que la production porcine. Les bovins de race locale élevés en système extensif polluent moins l'atmosphère, mais leur impact sur l'environnement est non négligeable notamment en rapport avec la dégradation des sols, la déforestation, l'augmentation de la sécheresse, etc. Cependant, ce système présente un inconvénient majeur lié à sa faible productivité par rapport au système intensif exploitant les bovins de races exotiques à forte production de lait et de viande.

Plusieurs solutions visant à réduire l'émission des gaz ont été proposées. Dans les élevages bovins, pour la réduction des émissions du méthane, il a été proposé d'augmenter la productivité animale tout en réduisant le nombre d'animaux et d'utiliser les additifs alimentaires (antibiotiques ionophores, les acides gras à longues chaînes) ; tandis que pour la réduction du protoxyde d'azote, certains auteurs ont proposés l'utilisation des additifs (acides organiques, les enzymes et les bactéries vivantes). Toutes ces mesures ne concernent pas la prise en charge des déjections issues des élevages.

L'impact des changements climatiques sur les productions animales risque d'affecter les économies et le commerce international. Les auteurs ont montré une importante sensibilité des élevages à des facteurs climatiques notamment en termes de productions des aliments et leurs variations, l'exposition à la chaleur et au froid. Les animaux seront soumis au stress thermique d'où les mesures doivent être prises pour l'adaptation des systèmes d'élevage en zone chaude. Ce qui augmentera, par conséquent, les coûts de production provoquant la hausse des prix des denrées alimentaires d'origine animale.

Les voies d'avenir en médecine vétérinaire africaine résident, d'une part dans la poursuite des recherches sur les impacts sanitaires des changements climatiques sur les animaux, pour prévenir les éleveurs et les autres acteurs de l'élevage des risques à venir, et d'autre part, dans la proposition des mesures d'adaptation afin de faciliter un large éventail de réponses.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **ARJONA A.; DENBOW D. et WEAVER W., 1988.** *Effect of heat stress early in life on mortality of broilers exposed to high environmental temperatures just prior to marketing.* Poultry Sci. **67**:226-231.
2. **BA M., 2005.** *Indices du réchauffement climatique.* (102) Les données de l'environnement. IFEN.-4p.
3. **BANGA-MBOKO H. ; BORDAS A. ; MINVIELLE F. et LEROY P.L., 2003.** *Réponse à la chaleur et à l'alimentation calcique séparée de poules pondeuses sélectionnées sur la consommation alimentaire résiduelle.* Ann. Méd. Vét., **147** : 51-58.
4. **BARNSTON A., GLANTZ M. et YUXIANG H., 1999:** *Predictive skill of statistical and dynamical climate models in SST. Forecasts during the 1997-98 El Niño episode and the 1998 La Niña onset - Bulletin of the American Meteorological Society,* **80**(2): 217-243
5. **BAUCHART D., 1981.** *Digestion comparée des lipides chez les ruminants et les monogastriques.* Bull. Tech. CRZV Theix, INRA. **46** : 45-55.
6. **BECKER M., 1989.** *The role of climate on present and past vitality of silver fir in forests in the Vosges Mountains of north-eastern France.* Can. J. for. Res. **19**: 1110-1117.
7. **BEEVER D.E., 1993.** *Rumen function (187–215)* In: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Dijkstra J.; Forbes J.M. et France J. (eds). Cambridge : CAB Int-Univ. Press.-736p.
8. **BERNUS E., 1983.** *L'homme et l'animal concurrents : Problèmes d'écologie pastorale sahélienne (111-122)* In : Le développement rural en question, Paris. ORSTOM.-505 p.
9. **BIRRENKOT T.P. et OLIVIER J.C., 1981.** *Effects of prostaglandin synthetase inhibitor or thermally stress broilers.* Poultry Sci., **60**: 15-95.
10. **BLACK J.L.; MULLAN B.P.; LORSCHY M.L. et GILES L.R., 1993.** *Lactation in the sow during heat stress.* Livest. Prod. Sci., **35**, 153-170.
11. **BLAXTER K.L. et CLAPPERTON J.L., 1965.** *Prediction of the amount of methane produced by ruminants.* Br. J. Nutr. **19** : 511–522.
12. **BOND G.; SHOWERS W.; CHESEBY M.; LOTTI R.; ALMASI P.; DEMENOCAL P.; PRIORE P.; CULLEN H.; HAJDAS I. et BONANI G., 1997.** *A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial cycles,* Science **278**: 1257-1266.
13. **BOTTJE W.G. et HARRISON P.C., 1985.** *The effects of tap water, carbonated water, sodium bicarbonate, and calcium chloride on blood acide-base balance in cockerels subjected to heat stress.* Poultry Sci. **64**: 107 – 113.

14. **BOUVAREL I.; FRANCK Y.; DE SAINT JAN B.; GUILLAUMIN J.M.; GERAERT P.A.; RUDEAUX F.; FERCHAL E.; ROFFIDAL L. et ECKENFELDER B., 1997.** *Utilisation de la mise à jeun pendant la période estivale.* Journ. Rech. Avic., **2** : 165-168.
15. **BROOKS N., 2004.** *Drought in the African Sahel: Long-term perspectives and future prospects.* Tyndall Centre Working Paper No. 61. [En ligne] Accès internet : <http://www.tyndall.ac.uk> (Consulté le 20 février 2008).
16. **BROOKS N., 2006.** *Cultural responses to aridity in the Middle Holocene and increased social complexity.* Quaternary International **151**: 29-49.
17. **BROOKS N.; DI LERNIA S.; DRAKE N.; CHIAPELLO I.; LEGRAND M.; MOULIN C. et PROSPERO J., 2005.** *The environment-society nexus in the Sahara from prehistoric times to the present day.* The Journal of North African Studies. **304**: 253-292.
18. **CASTY C.; WANNER H.; LUTERBACHER J.; ESPER J. et BHOM R., 2005.** *Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500.* International Journal of Climatology. **25**: 1855-1880.
19. **CCNUCC, 1998.** *Protocole de Kyoto. Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.* New York : Nations Unies.-24p.
20. **CHARNEY J.; QUIRK W. J.; CHOW S. H. et KORNFIELD J., 1977.** *A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions.* Journal of the Atmospheric Sciences **34**(9): 1366-1386.
21. **CHARNEY J.; STONE P. H. et QUIRK W. J., 1975.** *Drought in the Sahara: a biogeophysical feedback mechanism,* Science **187**: 434-435.
22. **CHASE E. L., 2006.** *"Climate Change Impacts on Dairy Cattle".*-Cornell: Department of Animal Science, University.-7p.
23. **CHATELLIER V. et VÉRITÉ R., 2003.** *L'élevage bovin et l'environnement en France : le diagnostic justifie-t-il des alternatives techniques ?* INRA Prod. Anim., **16** (4) : 231-249.
24. **CHEVILLE N.F., 1977.** *Environmental factors affecting the immune response of birds-review.* Avian Disease. **23**: 166-170.
25. **CHOUINARD Y., 2002.** *Production et émission du méthane et du gaz carbonique chez les ruminants.* 65^e Congrès de l'ordre des agronomes du Québec. OAQ.-10p.
26. **CLAUSSEN M.; BROVKIN V. et GANOPOLSKI A., 2003.** *Climate change in northern Africa: The past is not the future.* Climatic Change **57** (1-2): 99-118.
27. **COLLIER R.J.; KOBAYASHI Y. et GENTRY P., 2002.** *The use of genomics in genetic selection programs for environmental stress tolerance in domestic animals.* In: 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology -joint with

- 16th International Congress on Biometeorology of the International Society of Biometeorology (ISB), 28 October-1 November 2002, Kansas City, MO.- 1-5p.
28. **CARREAU L., 2007.** *Sécheresse au Sahel.* [En ligne] Accès internet : http://www.rfi.fr/actufr/articles/088/article_50752.asp (consulté le 10/07/2007).
29. **D'ALLAIRE S. ; DROLET R. et BRODEUR D., 1996.** *Sow mortality associated with high ambient temperatures.* *Can. Vet. J.*, **37**: 237-239.
30. **DE BASILIO V. et PICARD M., 2002.** *The capacity of survival of the chickens to heat stress is increased by early-age thermal conditioning.* INRA (France). v. **15**(4) : 235-245.
31. **DE BASILIO V. ; VILARIÑO M. ; REQUENA F.; LEON A. et PICARD M., 2003.** *Une technique d'acclimatation précoce des poulets de chair au climat tropical.* Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 26 et 27 mars 2003.- 4p.
32. **DE HAAN C.H.; STEINFELD H. et BLACKBURN H., 1977.** *Livestock and the environment: Finding a balance.* Suffolk: WRENmedia.-115p.
33. **DE WIT F.M., 2006.** *Climate change and african agriculture.* Policy Note (16). CEEPA. University of Pretoria.-7p.
34. **DELLA-MARTA P. M.; HAYLOCK M. R.; LUTERBACHER J. et WANNER H., 2007.** *The length of western European summer heatwaves has doubled since 1880.* *J. Geophys. Res.* **112** : D15103, doi:10.1029/2007JD008510.
35. **DEMEYER D. et FIEVEZ V., 2000.** *Ruminants et environnement: la méthanogenèse.* *Ann. Zootech.* **49** : 95-112.
36. **DIETZ T., RUERD RUBEN et VERHAGEN A., 2004.** *The Impact of Climate Change on Drylands: With a Focus on West Africa (Environment & Policy Series)* E&P. Kluwer Academic Publishers.-433p
37. **DORINA M., 2005.** *Avantage des produits agricoles en Afrique, appui de la FAO au NEPAD.*-Rome: FAO. [En ligne] Accès internet : <http://www.fao.org/docrep/008/y4675f/y4675f0a.htm> (consulté le 26 janvier 2008).
38. **DOURMAD J. Y.; GUINGAND N.; LATIMIER P. et SEVE B., 1999.** *Nitrogen and phosphorous consumption, utilisation and losses in pig production,* *Livest. Prod. Sci.* **58** : 199-211.
39. **EDENS F.W. et CABELL D.G., 1985.** *Reduced heat stress in broilers given flunixin, a no steroidal cyclooxygenase inhibitor.* *Poultry Sci.* **64**: Suppl. 1, 93.
40. **EKOOGA MVE D., 2003.** *Approche de l'étude du sinistre intervenu dans la zone sylvo-pastorale du Sénégal en janvier 2002.* Thèse : Méd. Vét: Dakar; 18.

41. **ENNE G. et GREPPI G.F., 1993.** *Effect of temperature on sow performance.* *Pig News and Information*, **14**: 105N-112N.
42. **EPICA community members, 2004a.** *Global warming art.* [En ligne] Accès internet :
http://www.globalwarmingart.com/wiki/Image:Ice_Age_Temperature.png
(consulté le 03/03/2008).
43. **EPICA community members, 2004b.** *Eight glacial cycles from an Antarctic ice core,* *Nature*, **429**: 623-628.
44. **FAO, 2006.** *Global Production Statistics 1950-2006.* [En ligne] Accès internet :
http://www.fao.org/figis/servlet/TabLandArea?tb_ds=Production&tb_mode=TABLE&tb_act=SELECT&tb_grp=COUNTRY (consulté le 05/07/08).
45. **FARIS S., 2007.** *The Real Roots of Darfur.* *The Atlantic Monthly*. **299** (3): 67-69.
46. **FNUAP, 2002.** *Rapport annuel 2002.* [En ligne] Accès internet :
www.unfpa.org/about/report/2002/fre/7chapter.htm (consulté le 01/03/08).
47. **FRANCIS M.P., 1994.** *Growth of juvenile snapper, Pagrus auratus (Sparidae).* *New Zeal. J. Mar. Fresh.*, **28**, 201-218.
48. **FRANCIS M.P., 1996.** *Geographic distribution of marine reef fishes in the New Zealand region.* *New Zeal. J. Mar. Fresh.*, **30**, 35-55.
49. **GAZSI M., 2008.** *Effets du réchauffement climatique.* [En ligne] Accès internet :
http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/france_829/label-france_5343/les-numeros-label-france_5570/lf59-protoger-planete_5344/dossier-preserver-avenir-planete_5347/france-engager-pour-planete_14427.html (consulté le 10/07/2007)
50. **GERAERT P.A. ; GUILLAUMIN S. et LECLERCQ B., 1993.** *Are genetically lean broilers more resistant to hot climate?* *Br. Poult. Sci.*, **34**: 643-653.
51. **GIEC, 1996.** *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Houghton J.T.; Meira Filho L.G.; Callander B.A.; Harris N.; Kattenberg A. et Maskell K. (éd.).-Cambridge: Cambridge University Press.-572p.
52. **GIEC, 1997.** *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual: Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, **3** : 482p.
53. **GIEC, 1998.** *Incidences de l'évolution du climat dans les régions : évaluation de la vulnérabilité. Rapport spécial du GIEC.* WATSON R.T. ; ZINYOWERA M.C. et MOSS R.H. (eds) New York ; Cambridge : Cambridge University Press.- 517p.

54. **GIGER-RIVERDIN S. ; VERMOREL M. et SAUVANT D., 1992.** *Facteurs de variation de la production de méthane au cours de la digestion des aliments composés chez les ruminants.* Ann. Zootech. **41**: 37-38.
55. **GLANTZ M., 1976.** *The Politics of Natural Disaster: The Case of the Sahel Drought.* The Journal of Modern African Studies, **15**: 155-156.
56. **GLANTZ M., 1996.** *Drought follows the Plough: Cultivating marginal areas (125-128).* In: Climate Variability, Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-arid Tropics. Ribot et al. (eds), Cambridge: Cambridge University Press.-250p.
57. **GORE A., 2006.** *An Inconvenient Truth.* [En ligne] Accès internet : <http://forumpolitics.com/blogs/2007/03/17/aninconvenient-truth-transcript/> (consulté le 05/04/2008).
58. **GUEHL J.C. ; BADEAU V. et DUPOUEY J.L., 2004.** *Impacts du changement climatique sur les forêts.* UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestières, INRA Centre de Nancy.-15p.
59. **GUILLOUET PH. ; TRIBOUT T. ; BUSSIERE J.F. ; BERTAUD G. ; BIDANEL J.P. et TERQUI M., 1999.** *Analyse des facteurs de variation de la production spermatique de verrats d'insémination artificielle.* Journées de la Recherche Porcine en France, **31** : 45-52.
60. **HAYS J. D. ; IMBRIE J. et SHACKLETON N. J., 1976.** *Variations in the Earth's orbit : pacemaker of the ice ages.* Science, **194**:1121–1132.
61. **HOBDAY A. et MATEAR R., 2005.** *Review of climate impacts on Australian fisheries and aquaculture: implications for the effects of climate change.* Eds Report to the Australian Greenhouse Office, Canberra.
62. **HOULE G. ; CHHEM C. et BOUGIE R., 2002.** *Inventaire québécois des gaz à effet de serre, 1990-2000.*-Québec. Ministère de l'Environnement du Québec.-93p.
63. **HULME M., 1996.** *Climatic change within the period of meteorological records.* In: The Physical Geography of Africa. Adams W.M.; Goudie A.S. et Orme A.R. (éd.). Oxford : Oxford University Press.-429 p.
64. **HULME M.; DOHERTY R.; NGARA T.; NEW M. et LISTER D., 2001.** *African climate change: 1900-2100.* Climate Research **17**: 145-168.
65. **INRA, 2004.** *Vers un diagnostic environnemental global des systèmes de production porcine.* Programme « Porcherie verte ». [En ligne] Accès internet : http://www.inra.fr/presse/vers_un_diagnostic_environnemental_global_des_sytemes_de_production_porcine (consulté le 28 mars 2008).
66. **IPCC, 1990.** *Climate Change 1990: The Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment.* Houghton J.T.; Callander B.A.; et Varney S.K. (eds). New York, Cambridge: Cambridge University Press.-364p.

67. **IPCC, 1997.** *Guidelines for national greenhouse gas inventories.* Module 4. Agriculture, Intergovernmental Panel on Climate Change.-17p.
68. **IPCC, 2001a.** *Climate Change 2001. The Scientific Basis.* Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO, UNEP, IPCC. Houghton J.; Ding Y.; Griggs D.; Noguer M.; Van Der Linden P. et Xiaosu D., (Eds). Cambridge: Cambridge University Press.-97p.
69. **IPCC, 2001b.** *Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO, UNEP, IPCC. Mccarthy J.; Canziani O.; Leary N.; Dokken D. et White K. (Eds). Cambridge: Cambridge University Press.-101p.
70. **IPCC, 2007.** *Climate change 2007. Working Group 1, Fourth Assessment Report.* B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave and L. Meyer (Eds). WMO, UNEP, New York: IPCC.-420p.
71. **JAOVELO F., 2007.** *Effet de la supplementation en Volihot sur les performances zootechniques des poulets de chair en période de stress thermique.* Thèse : Méd. Vét: Dakar; 58.
72. **JOBLIN K.N., 1999.** *Ruminal acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions.* Aust. J. Agric. Res. **50** : 1307-1313.
73. **JOHNSON H.D., 1991.** *The lactating cow in the various ecosystems; environmental effects on its productivity. Feeding dairy cows in the tropics.* FAO animal and health paper **86**: 9-21.
74. **JUNGO P. et BENISTON M. 2001.** *Changes in the anomalies of extreme temperature anomalies in the 20th century at Swiss climatologically stations located at different latitudes and altitudes.* Theor. Appl. Climatol., **69**: 1-12.
75. **KABUGA J.D. et ANNOR S.Y., 1991.** *Seasonal influence on the reproductive performance of swine in the humid zone of Ghana.* Intl J. Biometeorology, **35**: 208-213.
76. **KAFRI I. et CHERRY J.A., 1987.** *Supplemental ascorbic acid and heat stress in broilers chicks.* Poultry Science. **63**: Suppl. 125.
77. **KASSIM H., et NORZIHA I., 1995.** *Effects of ascorbic acid (vitamin C) supplementation in layer and broiler diets in the tropics.* Asian-Aust. J. Anim. Sci. **8**:607–610.
78. **KEMP B.; VERSTEGEN M.W.A.; DEN HARTOG L.A. et GROOTEN H.J.G., 1989.** *The effect of environmental temperature on metabolic rate and partitioning of energy intake in breeding boars.* Livest. Prod. Sci., **23**: 329-340.

-
79. **KEVANE M. et GRAY L., 2007.** *The Darfur Conflict Is Not a Climate Crisis.* [En ligne] Accès internet <http://sudaninstitute.org/Kevane.pdf> (consulté le 01/04/2008).
80. **KINSMAN R.; SAUER F.D.; JACKSON H.A. et WOLYNETZ MS., 1995.** *Methane and carbon dioxide emissions from dairy cows in full lactation monitored over a six-month period.* J. Dairy Sci. **78** : 2760-2766.
81. **KLARE M.T., 2001.** *Resource wars: the new landscape of global conflict.*- New York: Metropolitan Books/ Henry Holt and Company.-304p.
82. **LAING D., 1991.** *The Earth System: An Introduction to Earth Science.* William C Brown Pub, Paperback.-590p.
83. **LASKAR J. et ROBUTEL P., 1993.** *The chaotic obliquity of the planets.* Nature. **361** : 608 - 612.
84. **LE BELLEGO L.; NOBLET J. et VAN MILGEN J., 2002.** *Effect of high temperature and low protein diets on performance of growing-finishing pigs.* J. Anim. Sci., **80**: 691-701.
85. **LOU YUJIE ZHAOLI., 2002.** *Animal Husbandry Production and Global Climate change.* Jilin: Faculty of Animal science and Technology. Jilin Agricultural University.-5p.
86. **MAC LEOD M.G. et GERAERT P.A., 1988.** *Energy metabolism in genetically fat and lean birds and mammals (109-120).* In: Leanness in domestic birds. Leclerq B. & Whitehead. C.C.-Sevenoaks: Butterworths.-304p.
87. **MAMDANI M., 2007.** *Interview with Mahmood Mamdani on Darfur: "The Politics of Naming: Genocide, Civil War, Insurgency".* [En ligne] Accès internet : <http://www.democracynow.org/article.pl?sid=07/06/04/1334230> (consulté le 01/03/2008).
88. **MANSON B., 2008.** *Le Méthane Bovin Problème Ou Solution ?* Le M.A.G. Cultures N°46 [En ligne] Accès internet : <http://www.le-mag.fr/actualites-agricoles/articles/Dossier/Le-Methane-Bovin-Probleme-Ou-Solution--1269-7-1.html> (consulté le 03/07/2008).
89. **MARDER J et ARAD Z., 1989.** *Panting and acid-base regulation in heat stressed birds.* Comp Biochem Physiol A. 1989; **94**(3):395-400.
90. **MARSHALL F. et HILDEBRAND E., 2002.** *Cattle before crops: the beginnings of food production in Africa.* Journal of World Prehistory. **16**: 99–143.
91. **MCNAUGHTON J.L. et REECE F.N., 1982.** *Dietary energy requirements of broilers raised in low and moderate environmental temperatures. (1). Adjusting dietary energy to compensate for abnormal environmental temperature.* Poult. Sci., **61**: 1879-1884.

92. **MEA, 2005.** *Ecosystems and human well-being: scenarios.*- Washington: Island Press,-2 : 173–222
93. **MITCHELL J.K., 2001.** *Urban vulnerability to terrorism as hazard. Impacts of 9/11 on respects for terrorism research (17-25).* In: The geographical dimensions of terrorism, ed. S.L. Cutter, D.B. Richardson et. Wilbanks. New York: Routledge.-100p.
94. **MONGIN P. et SAUVEUR B., 1975.** *Données et applications nouvelles concernant la solidité de la coquille de l'œuf; Alimentation calcique séparée.* Courrier Avicole. Paris : **533** : 6-9.
95. **MOON B. K., 2007.** A Climate Culprit In Darfur. The Washington Post: A15.
96. **MOTE P. et KASER G., 2007.** *The Shrinking Glaciers of Kilimanjaro: Can Global Warming Be Blamed? The Kibo ice cap, a "poster child" of global climate change, is being starved of snowfall and depleted by solar radiation.* American Scientist. The magazine of Sigma Xi, The Scientific Research Society. [En ligne] Accès internet : http://uwnews.org/relatedcontent/2007/June/rc_parentID34106_thisID34110.pdf (consulté le 20/02/2008).
97. **NAKICENOVIC N. ; ALCAMO J. ; DAVIS G. ; DE VRIES B. ; FENHANN J. ; GAFFIN S. ; GREGORY K. ; GRÜBLER A. ; JUNG T.Y. ; KRAM T. ; LA ROVERE E.L. ; MICHAELIS L. ; MORI S. ; MORITA T. ; PEPPER W. ; PITCHER H. ; PRICE L. ; RAIHI K. ; ROEHL A. ; ROGNER H.-H. ; SANKOVSKI A. ; SCHLESINGER M. ; SHUKLA P. ; SMITH S. ; SWART R. ; VAN ROOIJEN S. ; VICTOR N. et DADI Z., 2000.** *Scénarios d'émissions. Rapport spécial du Groupe de travail III du GIEC.* New York ; Cambridge : Cambridge University Press.- 599 p.
98. **NASA, 2005.** *NASA's Earth Observatory on December 20, 2002, under the title "Melting Snows of Kilimanjaro." On March 25, 2005.*
99. **NDAM M., 2007.** *Utilisation du Volilyt dans la lutte contre la chaleur chez les poulets de chair et l'amélioration de leurs performances zootechniques.* Thèse : Méd. Vét: Dakar; 38.
100. **NGUYEN XUAN TRACH, 2003.** *Quelles races de vaches laitières faut-il élever au Vietnam?* Hanoi Agricultural University Livestock Research for Rural Development **15** (5).
101. **NICOLL K., 2004.** *Recent environmental change and prehistoric human activity in Egypt and Northern Sudan.* Quaternary Science Reviews **23**: 561–580.
102. **NKOMO J.C.; NYONG A.O. et KULINDWA K., 2006.** *The impact of climate change in Africa.* The stern Review on the Economics of Climate Change. - 51p.

103. **NOAA, 2006.** *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide - Mauna Loa.* En ligne] Accès internet: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (consulté le 03/04/2008).
104. **OLIVIER J.G.J; BRANDES L.J.; PETERS J.A.H.W. et COENEN P.W.H.G., 2002.** *Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2000.* Amsterdam: National Inventoty Report 2000. Rijksisntituut voor Volkgezondheid en Milieu. RIVM Rapport.- 150p.
105. **ORSKOV E. R., 2001.** *Sustainable Resource Management and Rural Development in Vietnam.* Paper presented at a seminar on ruminant nutrition held in Hanoi on 12 January 2001.
106. **PELTONIEMI O.A.T.; TAST A. et LOVE R.J., 2000.** *Factors effecting reproduction in the pig: seasonal effects and restricted feeding of the pregnant gilt and sow.* Anim. Reprod. Sci., **60-61**: 173-184.
107. **PELTONIEMI O.A.T.; TAST A. et LOVE R.J., 2000.** *Factors effecting reproduction in the pig: seasonal effects and restricted feeding of the pregnant gilt and sow.* Anim. Reprod. Sci., **60-61**: 173-184.
108. **PEREZ M. ; DE BASILIO V. ; COLINA Y. ; OLIVEROS Y. ; YAHAV S. ; PICARD M. et BASTIANELLI D., 2006.** *Evaluation du niveau de stress thermique par mesure de la température corporelle et du niveau d'hyperventilation chez le poulet de chair dans des conditions de production au Venezuela.* Revue Élev. Méd. vét. Pays trop. 2006, **59** (1-4) : 81-90.
109. **PETIT J.R. ; JOUZEL J. ; RAYNAUD D. ; BARKOV N.I. ; BARNOLA J.-M. ; BASILE I. ; BENDER M. ; CHAPPELLAZ J. ; DAVIS M. ; DELAYGUE G. ; DELMOTTE M. ; KOTLYAKOV V.M. ; LEGRAND M. ; LIPENKOV V.Y. ; LORIUS C. ; PEPIN L. ; RITZ C. ; SALTZMAN E. et STIEVENARD M., 1999.** *Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica.* Nature **399**: 429-436.
110. **PICARD M. ; ANTOINE H. et SAUVEUR B., 1986.** *Influence de l'alimentation calcique séparée sur l'ingéré énergétique de la poule pondeuse soumise à un stress thermique.* In: Conférence Européenne d'Aviculture, INRA (Ed.), Paris : 406-411.
111. **PNUD, 2007.** *Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008. La lutte contre le changement climatique: Un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé.* Éditions La Découverte.-383p.
112. **PRUNIER A. ; QUESNEL H. ; MESSIAS DE BRAGANÇA M. et KERMABON A.Y., 1996.** *Environmental and seasonal influences on the return-to-oestrus after weaning in primiparous sows: a review.* Livest. Prod. Sci., **45** : 103-110.
113. **QUESNEL H. et PRUNIER A., 1995.** *L'ovulation après le tarissement des truies : mécanismes physiologiques et facteurs de variation.* INRA Prod. Anim., **8** : 165-176.

114. **QUINIOU N. et NOBLET J., 1999.** *Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows.* J. Anim. Sci., **77** : 2124-2134.
115. **QUINIOU N. ; RENAUDEAU D. ; COLLIN A. et NOBLET J., 2000.** *Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques.* INRA Prod. Anim., **13** : 233-245.
116. **REITER M., 2007.** *Variability of recent ground surface temperature changes in the Albuquerque basin, central New Mexico.* J. Geophysical Research, **112** : D2407, doi:10.1029/2006JD008215.-9p.
117. **RENAUDEAU D. ; N. MANDONNET M. ; TIXIER-BOICHARD J. ; NOBLET J-P. et BIDANEL, 2004.** *Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs : la voie génétique.* INRA Prod. Anim., 2004, **17** (2) : 93-108.
118. **RENAUDEAU D.; NOBLET J. et DOURMAD J.Y., 2003.** *Effect of ambient temperature on mammary gland metabolism in lactating sows.* J. Anim. Sci., **81**: 217-231.
119. **RENNER M., 2002.** *The anatomy of resource wars.* Worldwatch Paper No. 162. Worldwatch Institute.
120. **RIEBEEK H., 2005.** *The Ice core record. Paleoclimatology.* [En ligne] Accès internet : http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Paleoclimatology_IceCores/ (consulté le 22 janvier 2008).
121. **RINALDO D. et LE DIVIDICH J., 1991.** *Influence de la température ambiante sur les performances de croissance du porc.* INRA Prod. Anim., **4**: 57-65.
122. **RINALDO D.; LE DIVIDICH J. et NOBLET J., 2000.** *Adverse effects of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs.* Livest. Prod. Sci., **66**: 223-234.
123. **ROHDE R.A., 2006a.** *Global warming art.* [En ligne] Accès internet : http://www.globalwarmingart.com/wiki/Image:Greenhouse_Effect_png (consulté le 26/01/2008).
124. **ROHDE R.A., 2006b.** *Global warming art.* [En ligne] Accès internet : http://www.globalwarmingart.com/wiki/Image:Ice_Age_Temperature.png (consulté le 20/01/2008).
125. **ROHDE R.A., 2007.** *Global Warming Art.* [En ligne] Accès internet: http://www.globalwarmingart.com/images/e/e0/Greenhouse_Gas_by_Sector.png (Consulté le 24/01/2008).
126. **RUMPLER W.V.; JOHNSON D.E. et BATES D.B., 1986.** *The effect of high dietary cation concentration on methanogenesis by steers fed diets with and without ionophores.* J. Anim. Sci. **62** : 1737-1741.

127. **RUSSEL J.B. et STROBEL H.J., 1989.** *Effects of ionophores on ruminal fermentation.* Appl. Environ. Microbiol., **55**: 1-6.
128. **SAUER F. D.; FELLNER V.; KINSMAN R.; KRAMER J. K.; JACKSON H. A.; LEE A. J. et CHEN S., 1998.** *Methane output and lactation response in Holstein cattle with Monensin or unsaturated fat added to the diet.* J. Anim. Sci., **76** : 906–914.
129. **SAUVANT D., 1993.** *La production de méthane dans la biosphère: le rôle des animaux d'élevage.* Courrier de la Cellule Environnement, INRA. **18** : 67-70.
130. **SCHMIDLI J. et FREI C., 2005.** *Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century.* Int.J. Climatol., **25**: 753-771.
131. **SCHMIDLI J.; SCHMUTZ C.; FREI C., WANNER H. et SHÄR C., 2002.** *Mesoscale precipitation in the Alps during the 20th century.* Int. J. Climatol., **22**: 1049-1074.
132. **SCHUBERT R.; SCHELLNHUBER H. J.; BUCHMANN N.; EPINEY A.; GRIESSHAMMER R.; KULESSA M.; MESSNER D.; RAHMSTORF S. et SCHMID J., 2007.** *Climate Change as a Security Risk.* German Advisory Council on Global Change (WBGU). London and Sterling: Earthscan. 248p.
133. **SCHWART P. et RANDALL D., 2003.** *An abrupt climate change scenario and its implications for United States national security.* [En ligne] Accès internet : <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/an-abrupt-climate-change-scena.pdf> (consulté ce 20/02/08).
134. **SCOTT M.L., 1966.** *Factors in modifying the practical vitamin requirements of poultry (34-35).* In: Proceedings, Cornell Nutrition Conference.
135. **SERE C.; GROENEWOLD J. et STEINFELD H., 1996.** *World livestock production systems: current status, issues and trends.* Animal production and health paper (127). Rome: FAO.-82p
136. **SIEGENTHALER U.; STOCKERT.F.; MONNIN E.; LÜTHI D.; SCHWANDER J.; STAUFFER B.; RAYNAUD D.; BARNOLA J.; FISCHER H.; MASSON-DELMOTTE V. et JEAN JOUZEL, 2005.** *Stable Carbon Cycle–Climate Relationship During the Late Pleistocene.* Science, **310** (5752): 1313-1317.
137. **STAHLY T.S. et CROMWELL G.L., 1979.** *Effect of environmental temperature and dietary fat supplementation on the performance and carcass characteristics of growing and finishing swine.* J. Anim. Sci., **49**: 1478-1488.
138. **STEINBACH J., 1976.** *Reproductive performance in high producing pigs under tropical conditions.* World Anim. Rev., **19**: 43-47.

139. **STEINFELD H.; DE HAAN C.H. et BLACKBURN H., 1977.** *Livestock and the environment Interactions: Issues and options*. Suffolk: WRENmedia.
140. **STEINFELD H.; GERBER P.; WASSENAAR T.; CASTEL V.; ROSALES M. et DE HAAN C., 2006.** *Livestock's long Shadow environment issues and options*, Rome: FAO, LEAD.- 390p.
141. **STILBORN H.; HARRIS G.; BOTTJE W. et WALDROUP P., 1987.** Use of ascorbic and acetylsalicylic acid (asprin) in the diet of broilers maintained under heat stress condition. *Poultry Sci.*, **66**: Suppl. 43.
142. **ST-PIERRE N.R.; COBANOV B. et SCHNITKEY G., 2003.** *Economic losses from heat stress by US livestock industries*. *J. Dairy Sci.*, **86**(E.Suppl.): E52-E77.
143. **SZABO B.J.; HAYNES, C.V. et MAXWELL T.A., 1995.** *Ages of Quaternary pluvial episodes determined by uranium-series and radiocarbon dating of lacustrine deposits of Eastern Sahara*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **113**: 227-242.
144. **TALBOT M. R., 1983.** *Late Pleistocene rainfall and dune building in the Sahel (203-213)*. In: A. A. Balkema (Ed.), *Palaeoecology of Africa 16*, Rotterdam: Balkema.
145. **TEETER R.G. et SMITH M.O., 1986.** *High chronic ambient temperature stress effects on broiler acide-base balance and their response to supplemental ammonium chloride, potassium carbonate*. *Poultry Sci.* **65**: 1777-1781.
146. **TEETER R.G.; SMITH M.O.; OWENS F.N.; ARP S.C.; SANGIAH S. et BREAZILE J.E., 1985.** *Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chickens*. *Poultry Sci.* **64**: 1060-1064.
147. **UNEP, 2007.** *Environmental Degradation Triggering Tensions and Conflict in Sudan*. New York: United Nations.-15p
148. **UZU G., 1989.** *L'alimentation de la poule pondeuse en climat chaud: deux voies d'amélioration*. *L'aviculture, France*, **504** (1989) : 40-48.
149. **VAN AARDENNE J.A. ; DENTENER F.J. ; OLIVIER J.G.G. ; KLEIN GOLDEWIJK C.G.M. et LELIEVELD J., 2001.** *A high resolution dataset of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890-1990*. *Global Biogeochemical cycles*, **15**(4): 909-928.
150. **VAN NEVEL C.J. et DEMEYER D.I., 1988.** *Manipulation of rumen fermentation (387-443)*. In: P.N. Hobson (éd), *The microbial ecosystem*, New York ; London: Elsevier Applied Science.-748p.
151. **VAN NEVEL C.J., 1991.** *Modification of rumen fermentation by the use of additives (236-280)*. In: J.-P. Jouany (éd.), *Rumen microbial metabolism and ruminant digestion*, Paris: INRA.-374p.

152. **VERMOREL M., 1995.** *Productions gazeuses et thermiques résultant des fermentations digestives.* In: Nutrition des ruminants domestiques: ingestion et digestion (649-670). Jarrige, R., Ruckebusch, Y., Demarquilly, C., Farce, M.H. et Journet, M. (eds). Paris : INRA.-921p.
153. **VISSAC B., 2002.** Les vaches de la République. Paris : INRA Editions.-505 p.
154. **WALLACE J., 2008.** *Effet de serre : un nouvel aliment empêche le bétail de produire du méthane.* [En ligne] Accès internet : http://www.futura-sciences.com/fr/sinformer/actualites/news/t/terre-3/d/effet-de-serre-un-nouvel-aliment-empêche-le-betail-de-produire-du-methane_8009/ (consulté le 10 juillet 2008).
155. **WANNER H.; BRONNIMANN S.; CASTY C. et GYALISTRAS D., 2001.** *North Atlantic Oscillation – concepts and studies.* Surv.Geophys. **22**: 321-382.
156. **WETTMANN R.P.; WELLS M.E. et JOHNSON R.K., 1979.** *Reproductive characteristics of boars during and after exposure to increased ambient temperature.* J. Anim. Sci., **49**: 1501-1505.
157. **WRI, 2005.** *EarthTrends: The Environment Information Portal.* WRI. Data on protected areas from the World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) World Database on Protected Areas (WDPA), Version 6. Washington DC: World Resources Institute. [En ligne] Accès internet : <http://earthtrends.wri.org> (consulté le 25/03/200/).
158. **WWF, 2007.** *La disparition des forêts pèse sur le climat.* [En ligne] Accès internet : <http://www2.wwf.ch/de/newsundserservice/news/index.cfm?uNewsID=988> (consulté le 10 avril 08).
159. **YAHAV S., 1998.** *The effects of acute and chronic heat stress on performance and physiological responses of domestic fowl.* Trends comp. Biochem. Physiol., **5**: 187-199.
160. **YAHAV S.; HURWITZ S.; STRASCHNOW A. et PLAVNIK I., 1996.** *Effects of diurnally cycling versus constant temperature on chicken growth and food intake.* Br. Poult. Sci., **37**: 43-54.
161. **ZHOU W. et YAMAMOTO S., 1997.** *Effects of environmental temperature and heat production due to food intake on abdominal temperature, shank skin temperature and respiration rate of broilers.* Br. Poult. Sci. **38**: 107-114.
162. **ZINYOWERA M.C. ; JALLOW B.P. ; SHAKESPEARE MAYA R. et OKOTH-OGENDO H.W.O., 2001.** *Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Evaluation de la vulnérabilité AFRIQUE.* GIEC, WMO, UNEP.-60p.

SERMENT DES VETERINAIRES DIPLOMES DE DAKAR

« Fidèlement attaché aux directives de Claude BOURGELAT, fondateur de l'enseignement vétérinaire dans le monde, je promets et je jure devant mes maîtres et mes aînés :

✎ d'avoir en tous moments et en tous lieux le souci de la dignité et de l'honneur de la profession vétérinaire ;

✎ d'observer en toutes circonstances les principes de correction et de droiture fixés par le code de déontologie de mon pays ;

✎ de prouver par ma conduite, ma conviction, que la fortune consiste moins dans le bien que l'on a, que dans celui que l'on peut faire ;

✎ de ne point mettre à trop haut prix le savoir que je dois à la générosité de ma patrie et à la sollicitude de tous ceux qui m'ont permis de réaliser ma vocation.

« Que toute confiance me soit retirée s'il advient que je me parjure. »

LE (LA) CANDIDAT (E)

**VU
LE DIRECTEUR
DE L'ECOLE INTER-ETATS
DES SCIENCES ET MEDECINE
VETERINAIRES DE DAKAR**

**VU
LE PROFESSEUR RESPONSABLE
DE L'ECOLE INTER-ETATS DES
SCIENCES ET MEDECINE
VETERINAIRES DE DAKAR**

**VU
LE DOYEN
DE LA FACULTE DE MEDECINE
ET DE PHARMACIE
DE L'UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
DE DAKAR**

**LE PRESIDENT
DU JURY**

**VU ET PERMIS D'IMPRIMER _____
DAKAR, LE _____**

**LE RECTEUR, PRESIDENT DE L'ASSEMBLEE
DE L'UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
DE DAKAR**

INTERRELATIONS BETWEEN GLOBAL CLIMATE CHANGE AND ANIMAL HUSBANDRY PRODUCTIONS : *Bibliographic study*

INTERRELATIONS ENTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LES PRODUCTIONS ANIMALES : *Etude Bibliographique*

ABSTRACT

The annual average temperature of the globe increased of 0.6°C to the 20th century, with important regional disparities. If natural variability of the climate played a role in this evolution, the increase of the greenhouse gas concentrations in the atmosphere due to the human activities is responsible on important share and growing of the climate change noted.

In fact, the livestock subsector is the one of the pollution sources of earthly origin; it contributes to the global warming by the greenhouse gas emissions and is responsible of small quantity (1%) of the carbon dioxide (CO₂), and respectively of 50 and 30% of the nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄). Extensive Ruminants produce important quantities of these two last gasses than other monogastric animals. Several solutions aiming to reduce the greenhouses gas emissions were proposed as increase of the animal productivity (bovine) and usage the food additives (bovine, pigs) and excretion treatment.

The impact of the climate change on animal husbandry productions risks affecting the national economies and international trade. Important sensitiveness of the livestock to climatic factors was shown in terms of feeds productions and the exposition to heat and cold.

The animals will be subjected to heat stress; consequently, the measures for the adaptation of the livestock systems must be taken in tropical zone, which will increase, nevertheless, the production costs provoking the increase of animal products prices.

The future ways in veterinary medicine in Africa reside on, one hand in further research on health and zootechnical impacts of the climate change on animals to prevent breeders and other actors of livestock to future risks, and on the other hand, in the suggestion of the measures of adaptation in order to facilitate a wide responses range.

Key words: Climate change, greenhouse gas, animal production

RESUME

La température moyenne annuelle du globe a augmenté de 0,6°C au XX^{ème} siècle, avec de fortes disparités régionales. Si la variabilité naturelle du climat a joué un rôle dans cette évolution, l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère due à l'homme est responsable d'une part importante et croissante des changements climatiques constatés.

En effet, le secteur de l'élevage est l'une des sources de pollution d'origine terrestre, il contribue au réchauffement climatique par l'émission des GES et est responsable de l'émission de 1% du gaz carbonique (CO₂), et respectivement de 50 et 30% du protoxyde d'Azote (N₂O) et du méthane (CH₄). Les ruminants produisent de grande quantité de ces deux derniers gaz par rapport à d'autres animaux monogastriques. Plusieurs solutions visant à réduire l'émission des GES ont été proposées notamment l'augmentation de la productivité animale (bovins) et l'utilisation les additifs alimentaires (bovins, porcs) et le traitement des déjections.

L'impact des changements climatiques sur les productions animales risque d'affecter les économies et le commerce international. Il a été montré une importante sensibilité des élevages à des facteurs climatiques notamment en termes de productions des aliments et l'exposition à la chaleur et au froid. Les animaux seront soumis au stress thermique d'où les mesures doivent être prises pour l'adaptation des systèmes d'élevage en zone chaude. Ce qui augmentera, par conséquent, les coûts de production provoquant la hausse des prix des denrées alimentaires d'origine animale.

Les voies d'avenir en médecine vétérinaire en Afrique résident d'une part dans la poursuite des recherches sur les impacts sanitaires et zootechniques des changements climatiques sur les animaux pour prévenir les éleveurs et les autres acteurs de l'élevage des risques à venir, et d'autre part, dans la proposition des mesures d'adaptation afin de faciliter un large éventail de réponses.

Mots clés : Changements climatiques, gaz à effet de serre, élevage

Auteur : Aimable UWIZEYE

KIGALI – RWANDA

Tel : (250) 08 45 02 17/08 22 38 72/08 56 63 65

E-mail : uaim@hotmail.com; uaim01@yahoo.fr

