

**M2 "Qualité et Environnement en Productions Animales"  
Université François Rabelais, Tours - 2016**

# **Optimisation des bâtiments d'élevage**

**Paul Robin, Mélynda Hassouna**

*Connaissances nécessaires et exemples d'utilisation*



# I. Contexte : pourquoi “optimiser” des bâtiments d'élevage ?



# Sommaire

- **Usages des animaux / des bâtiments d'élevage**
- **Augmentation de la production animale**
- **Concentration géographique des animaux**
- **Enjeux sociétaux associés aux bâtiments**
- **Connaissances nécessaires pour « optimiser »**



# Usages des animaux / des bâtiments d'élevage

→ les animaux de rente : pour un ou plusieurs usages ?

- Protéines : viande, lait, oeufs
- Transport, traction
- Élevages associés (ex. porcs/poissons)



# Usages des animaux / des bâtiments d'élevage

→ les animaux de rente : pour un ou plusieurs usages ?

- Protéines : viande, lait, oeufs
- Transport, traction
- Élevages associés (ex. porcs/poissons)
- Fourrures, peaux, venins, sérums, essais médicaments, traitement des déchets, évènements culturels, etc.



# Fonctions des bâtiments d'élevage

→ par salle d'élevage (homo/hétérogénéité) :

- Soins aux animaux : santé, reproduction
- Abri - ambiance optimale
- Alimentation-abreuvement
- Systèmes de collecte des déjections (lisier, fumier, séparation)
- Bien-être animal (“besoins fondamentaux”)



**=> Analyser la satisfaction des besoins animaux**



# Fonctions des bâtiments d'élevage

## → par bâtiment

- Succession des stades physiologiques,
- Succession des lots
- Marche en avant
- Désinfection, hygiénisation
- Tri, allotement, "récolte"
- Ventilation centralisée, récupération de chaleur, traitement d'air (NH<sub>3</sub>, particules)
- Protection des salariés, santé au travail

**=> Analyser les conditions de travail, l'articulation bâtiment - équipements**



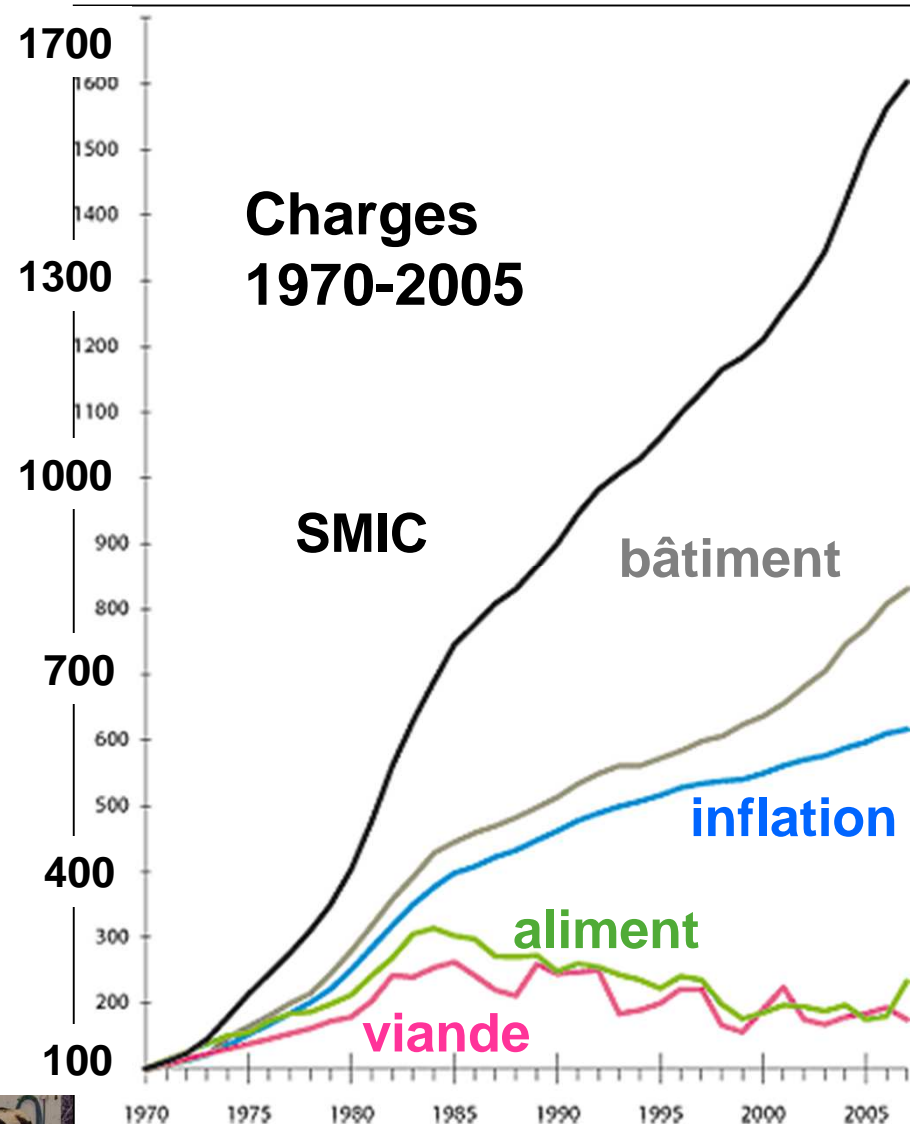
# Fonctions des bâtiments d'élevage

→ par exploitation

- Salaire, capital
- Transformation des produits (viande, lait, oeufs, ...)
- Production & stockage d'aliments
- Stockage, transformation, valorisation des effluents
- Recyclage des coproduits
- Récupération de chaleur

⇒ Analyse économique (charges fixes/variables)

⇒ Complémentarité des ateliers





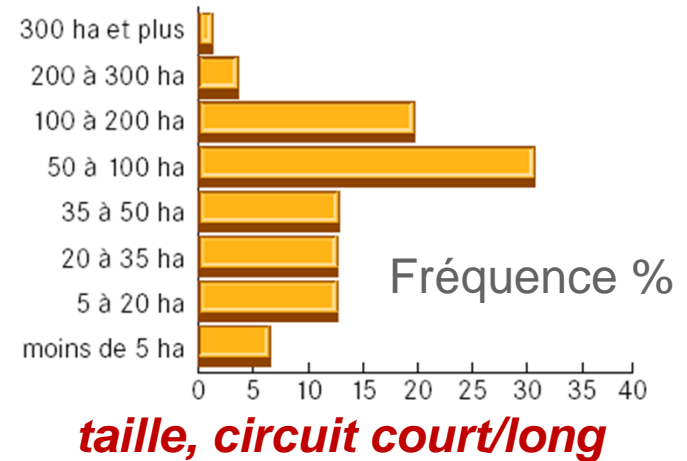
# Fonctions des bâtiments d'élevage

## → par territoire

- Production d'aliment, de richesses
- Emploi
- Paysage, cadre de vie, odeurs, acceptabilité sociale
- Recyclage des coproduits
- Production de chaleur
- Energie renouvelable
- Protection de l'environnement, durabilité

⇒ Insertion sociale, environnementale

⇒ Complémentarité des activités



# Fonctions des bâtiments d'élevage

⇒ **Diversité d'attentes pour une construction ou rénovation**

<p>→ Durabilité</p> <p>Echelle d'approche ↘</p>	économique	sociale	environnementale
Individu : famille	<i>à définir...</i>	<i>à définir...</i>	<i>à définir...</i>
Locale : ferme	<i>à définir...</i>	<i>à définir...</i>	<i>à définir...</i>
Régionale : groupement	<i>à définir...</i>	<i>à définir...</i>	<i>à définir...</i>
Mondiale : firme	<i>à définir...</i>	<i>à définir...</i>	<i>à définir...</i>



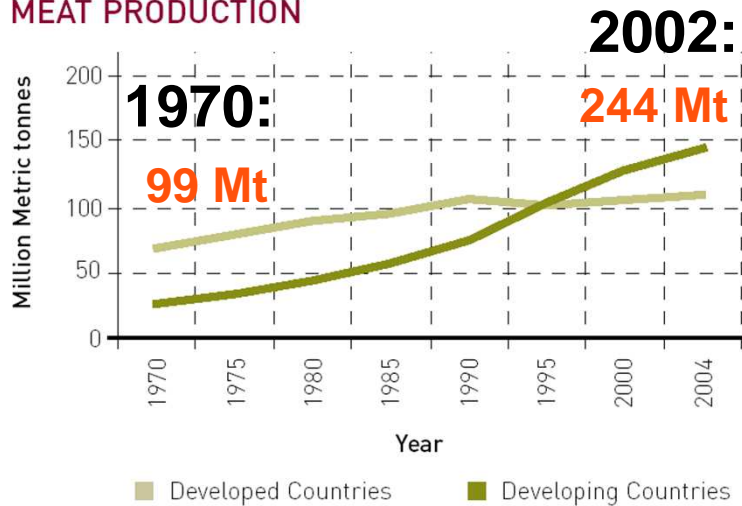
# Sommaire

- Usages des animaux / des bâtiments d'élevage
- Augmentation de la production animale
- Concentration géographique des animaux
- Enjeux sociétaux associés aux bâtiments
- Connaissances nécessaires pour « optimiser »



# Augmentation de la production animale

## MEAT PRODUCTION



- Hausse de la production de viande
- Essentiellement due à une consommation accrue

Source: FAO (2005)

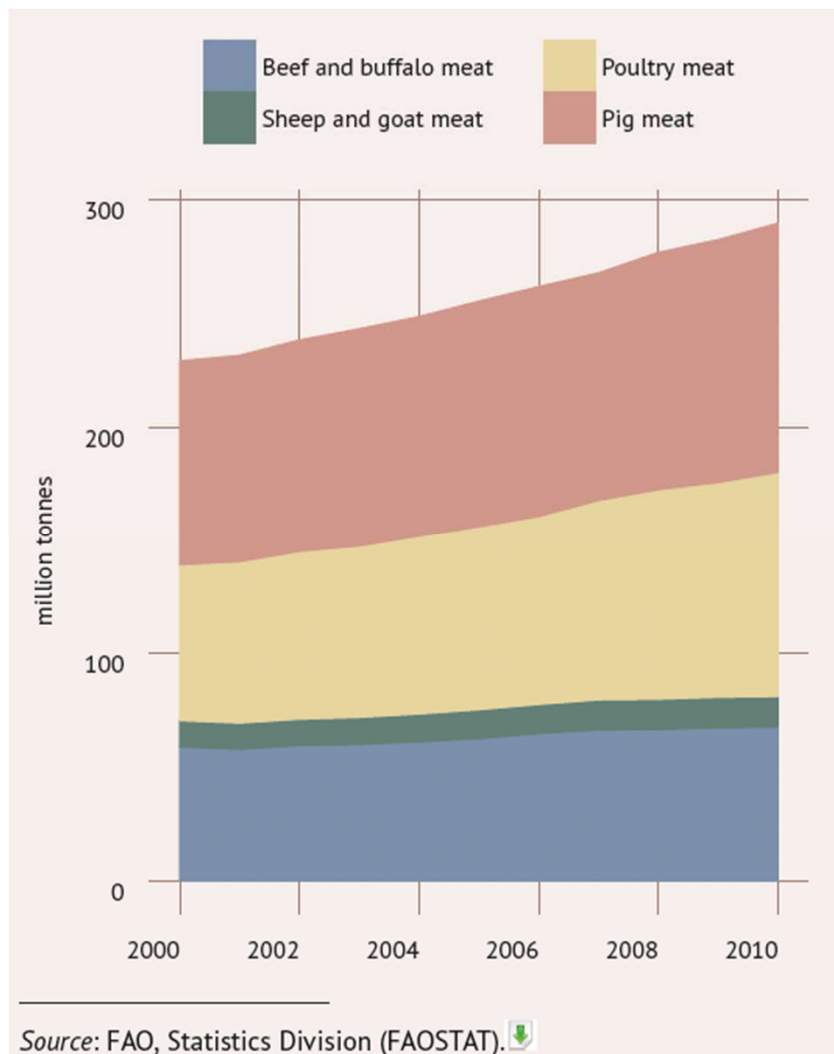
## CHANGES IN CONSUMPTION OF ANIMAL PRODUCTS

	Developing countries				Developed countries			
	1970	1980	1990	2002	1970	1980	1990	2002
Annual per caput meat consumption (kg)	11	14	19	29	65	75	82	80
Annual per caput milk consumption (kg)	19	23	27	31	122	99	92	93
Total meat consumption (million MT)	29	47	74	139	70	88	103	105
Total milk consumption (million MT)	82	119	167	256	307	346	372	343

Source: FAO (2005)



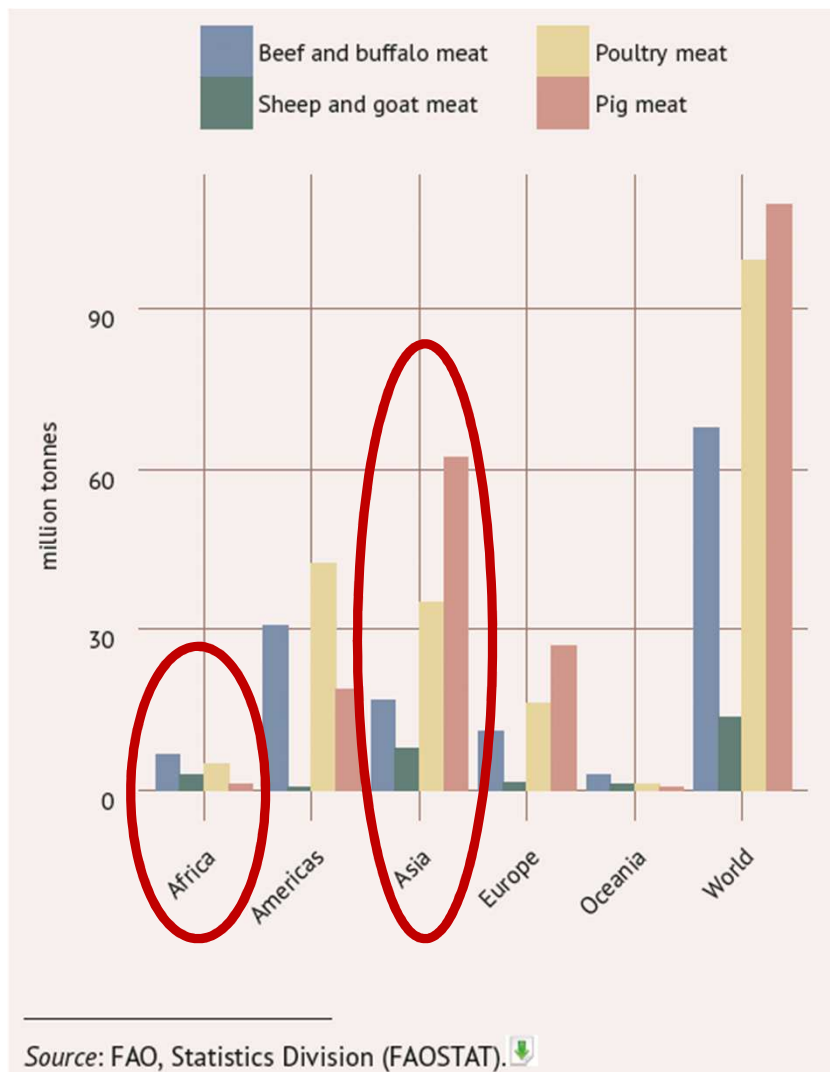
# Augmentation de la production animale



- La hausse de la production de viande se poursuit dans les pays en développement
- Croissance faible pour les herbivores et porcins
- Croissance rapide pour les volailles



# Augmentation de la production animale



- Développement associé à l'amélioration du revenu des populations
- Développement rapide en Asie
- Croissance à venir en Afrique, à proximité des agglomérations



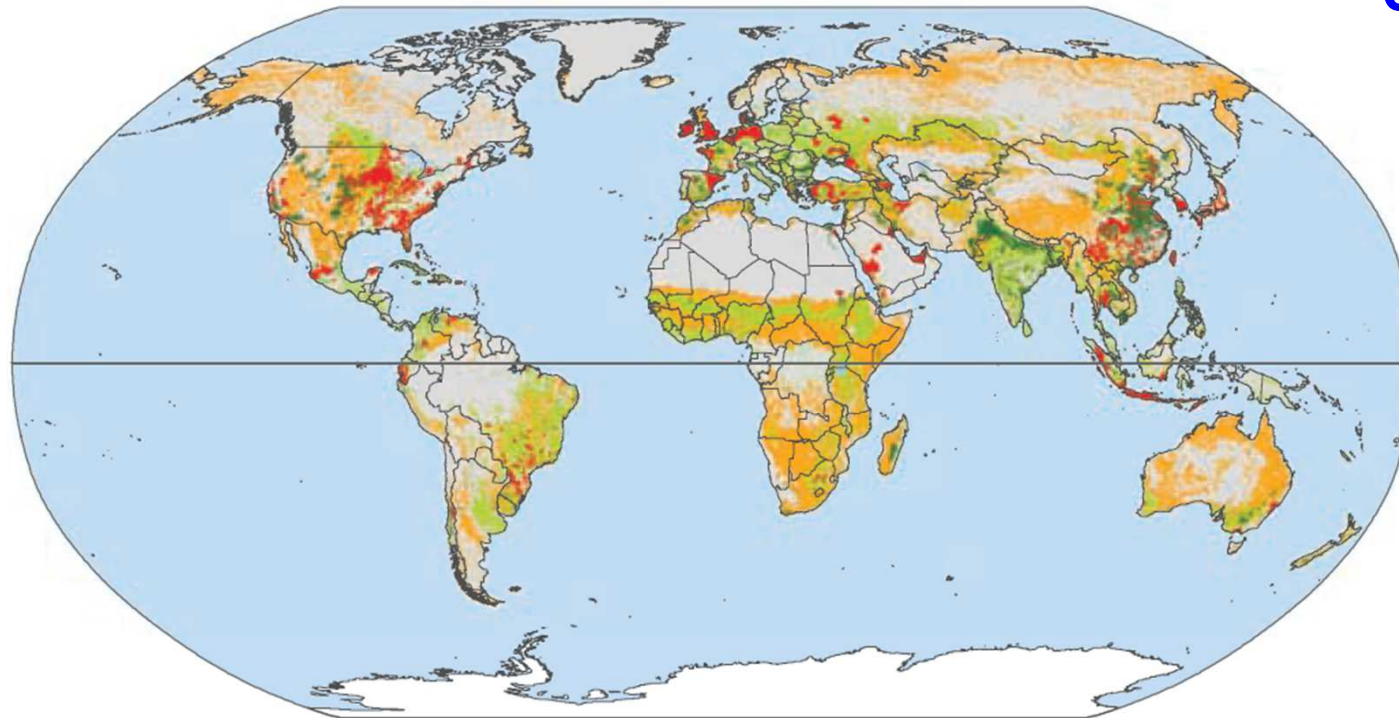
# Sommaire

- Usages des animaux / des bâtiments d'élevage
- Augmentation de la production animale
- Concentration géographique des animaux
- Enjeux sociétaux associés aux bâtiments
- Connaissances nécessaires pour « optimiser »



# Concentration géographique des animaux

- Des « hot-spots » de production hors sol proches des consommateurs



Livestock production systems

Mixed, irrigated  
Mixed, rainfed

Grazing  
Other type

Areas dominated by landless production  
Boreal and arctic climates

National boundaries

source : Steinfeld et al., 2006

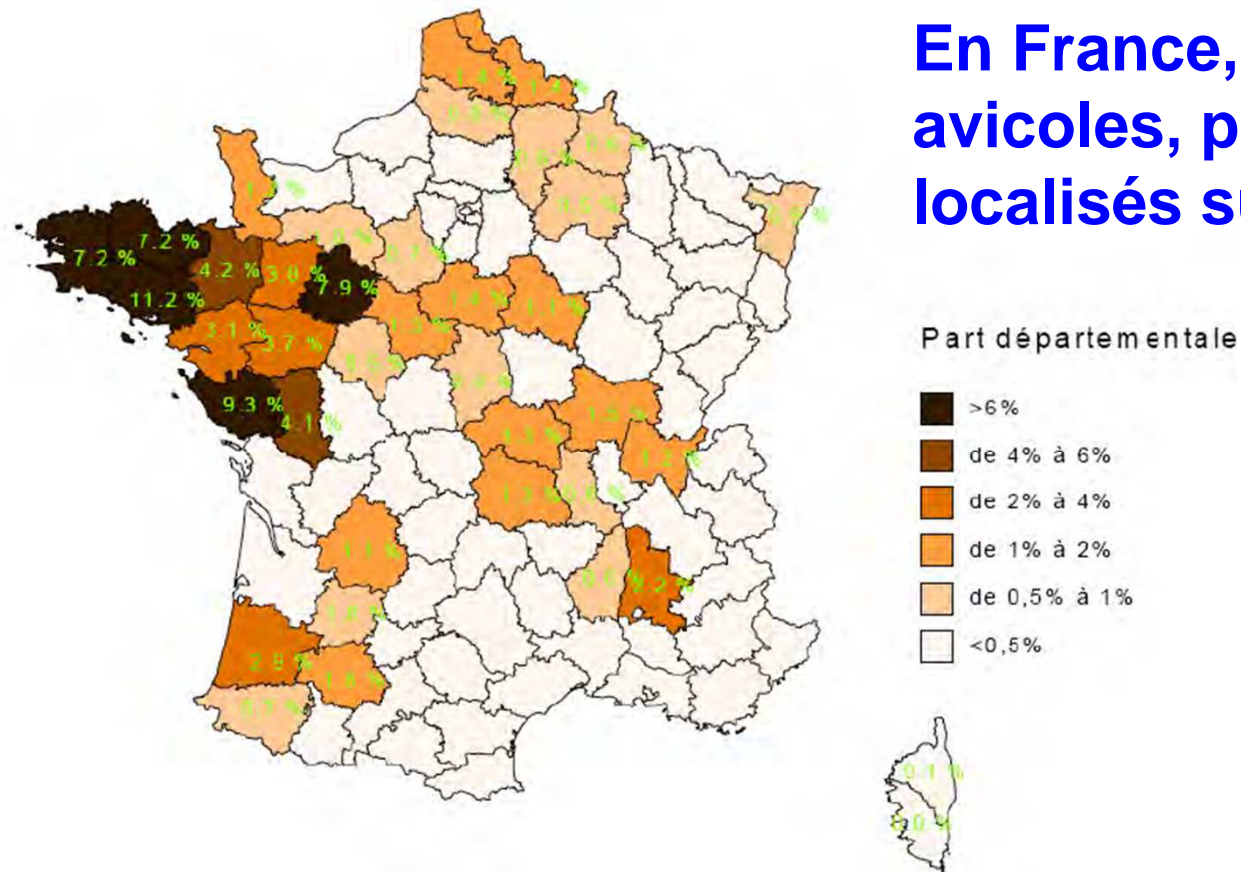
- Qui entraînent des transferts d'aliments (grains, soja) et de fertilité ainsi que la déforestation





# Concentration géographique des animaux

**En France, des cheptels avicoles, porcins, bovins localisés surtout dans l'Ouest**



Source : élaboration ITAVI d'après AGRESTE – Enquête aviculture 2008



# Concentration géographique des animaux

- Développement de la production animale

- Sélection génétique
- Stratégies alimentaires
- Contrôle d'ambiance

Efficiences des aliments (N,P), énergie, travail par kg viande produite; meilleure qualité des produits

- Taille d'élevage accrue
- Densités animales accrues
- Concentration régionale des élevages

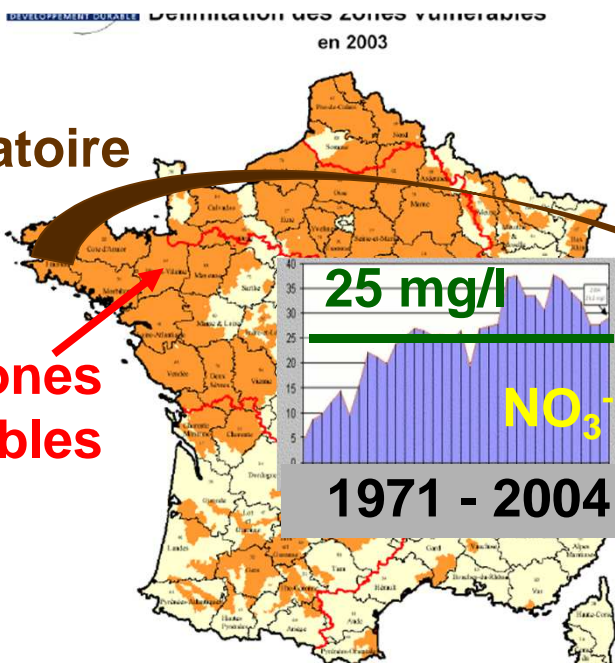
Hausse des intrants, des pertes gazeuses, des épandages par ha d'exploitation agricole

**→ efficacité de recyclage réduite**



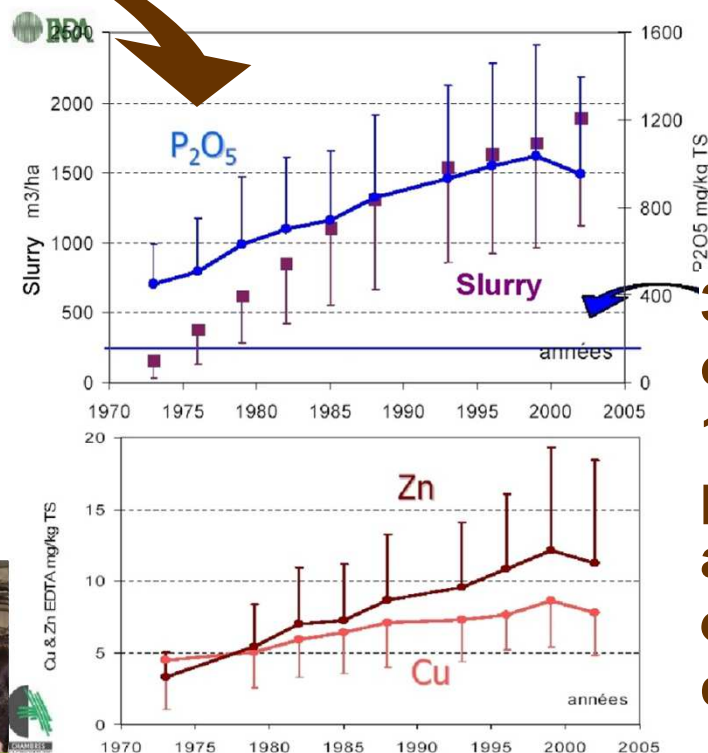
En France...

**Concentration d'élevages à l'Ouest +  
baisse de l'efficacité du recyclage =>**



- Eutrophisation, baisse de biodiversité
- qualité de l'air (NH<sub>3</sub>, GES, odeurs)
- dégradation des sols (P, Cu, Zn)

**Condamnations de l'état,  
contestation des aides  
publiques aux élevages**



**30 ans  
observation  
180  
parcelles  
avec  
épandages  
de lisier**

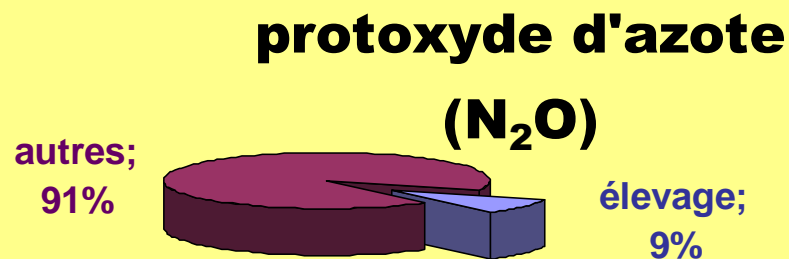
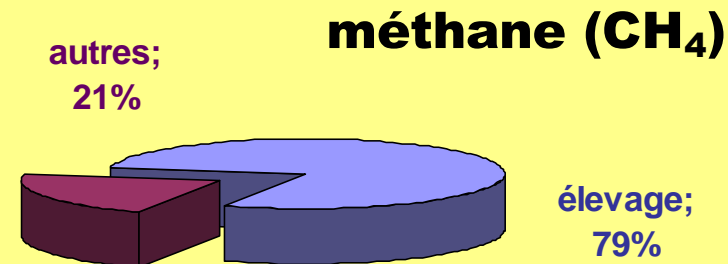
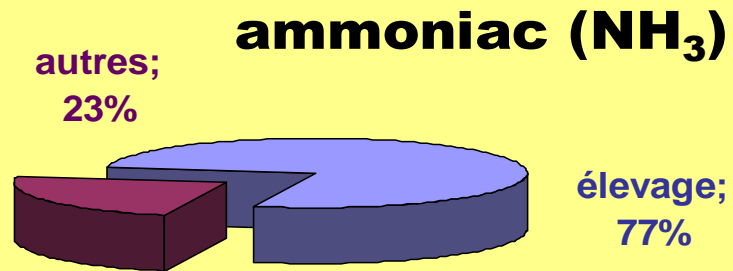


# Sommaire

- Usages des animaux / des bâtiments d'élevage
- Augmentation de la production animale
- Concentration géographique des animaux
- Enjeux sociétaux associés aux bâtiments
- Connaissances nécessaires pour « optimiser »



# Enjeux sociétaux associés aux bâtiments : gaz



émissions en France; CITEPA, 2009

→ CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O sont aussi des GES mais “biogéniques”

→ Forte incertitude (ex. 80% pour NH<sub>3</sub>) due à la forte variabilité entre élevages et aux puits

→ Certains élevages ont une émission NH<sub>3</sub> inférieure aux références nationales  
=> comment les identifier ?  
=> comment transférer ?

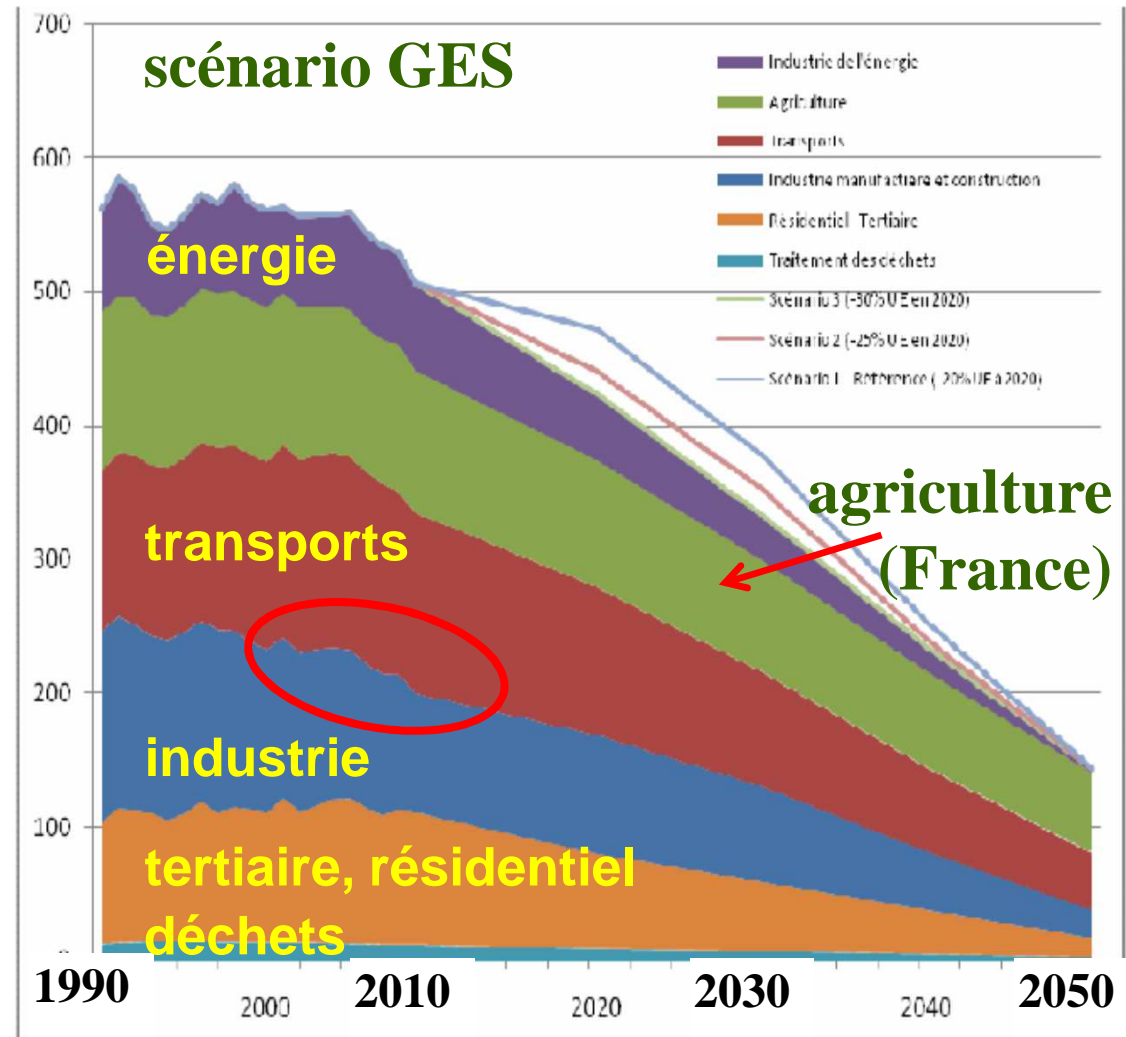
→ **Nécessité de faire plus de mesures en élevage**



# Enjeux sociétaux associés aux bâtiments : gaz

- Engagements politiques de réduction et baisse attendue des émissions industrielles

=> augmentation des émissions des élevages en valeur (Monde) et en pourcentage (France)



Source Trajectoires 2020-2050 (De Perthuis, 2011)

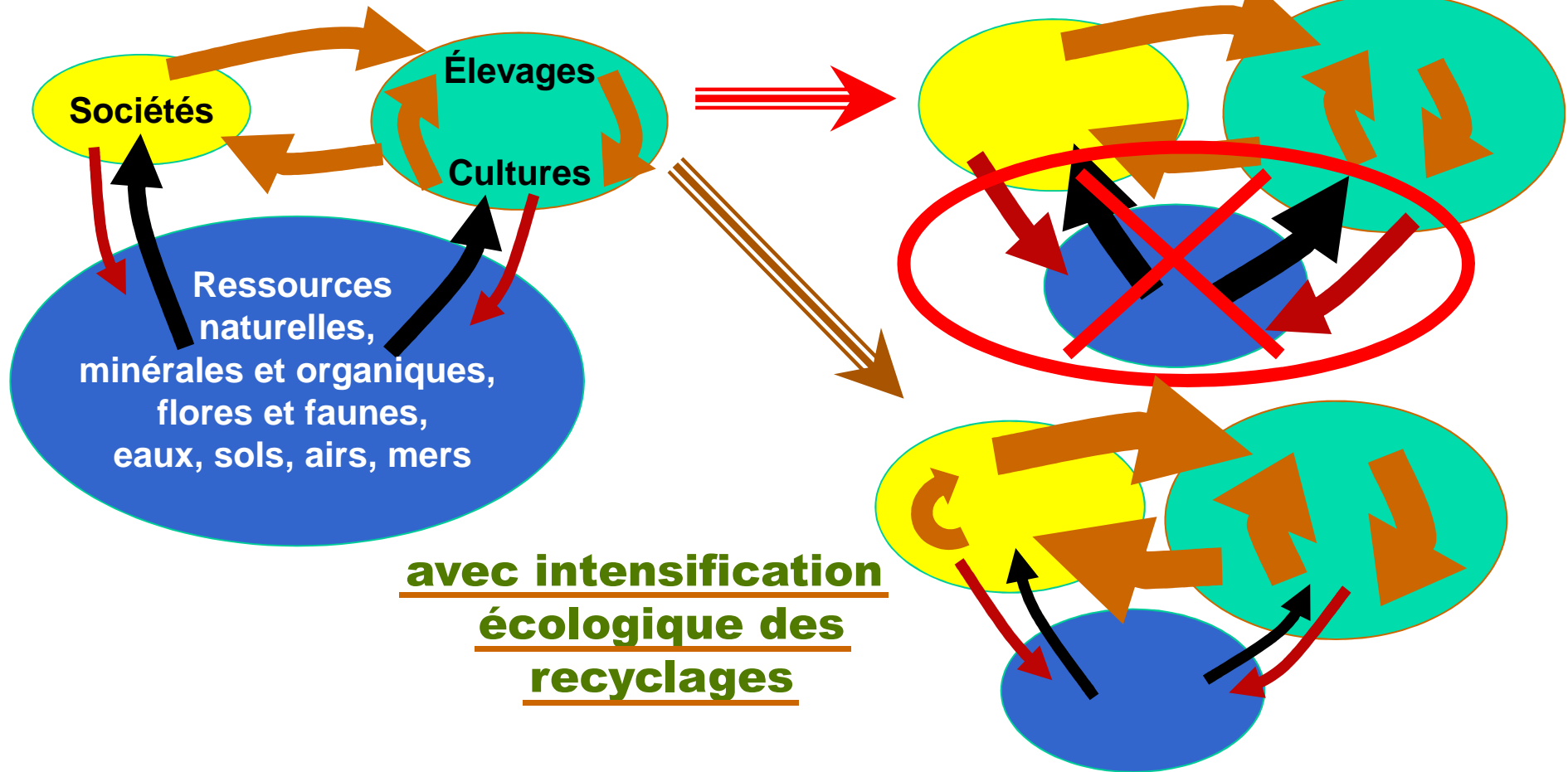


# Enjeu « agroécologie »

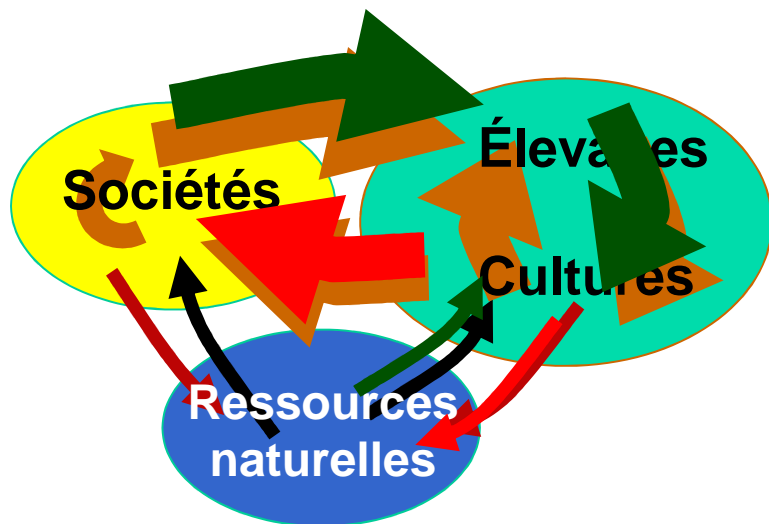
hausse de la population  
& diversification des besoins

« empreinte écologique »

mêmes modes de production



# Condition d'une évolution rapide : rémunérer la performance environnementale, prix consommateur inférieur



- associer intérêt pour le producteur et pour le consommateur

- conserver la productivité des surfaces en réduisant les fuites vers les milieux naturels

- améliorer l'efficacité des intrants en recyclant plus les matières organiques

➔ mesurer les flux environnementaux et regrouper les performances aux niveaux des territoires et des filières





# Enjeux sociétaux associés aux bâtiments : durabilité

## *DQY ecological farm (10<sup>6</sup> eggs per day)*



**60 000 contrats  
avec agriculteurs**

(Wenzhi Pan, 2010)



# Enjeux sociétaux associés aux bâtiments : durabilité

## environmental impact of contrasted poultry production

- Life Cycle Assessment
- 3 systems were compared:
  - Standard
  - Free-range
  - Organic

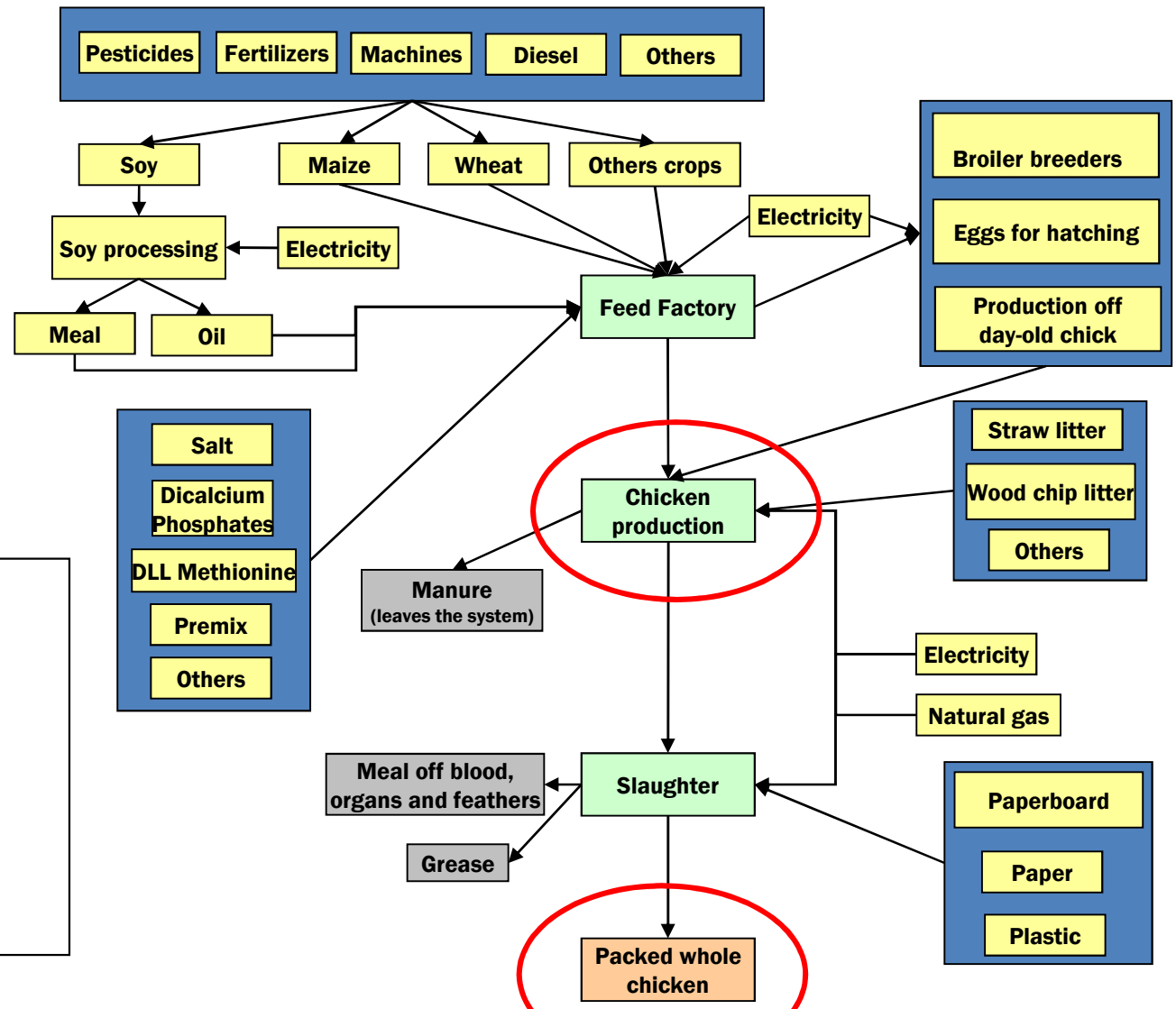


(van der Werf et al., 2011)



# environmental impact of contrasted poultry production

- Method: Life Cycle Analysis evaluates direct and indirect (from inputs) pollutions
- For all processes, impact assessment



**Notes:**

- All stages of transport were considered
- Houses and their maintenance is not included in the system

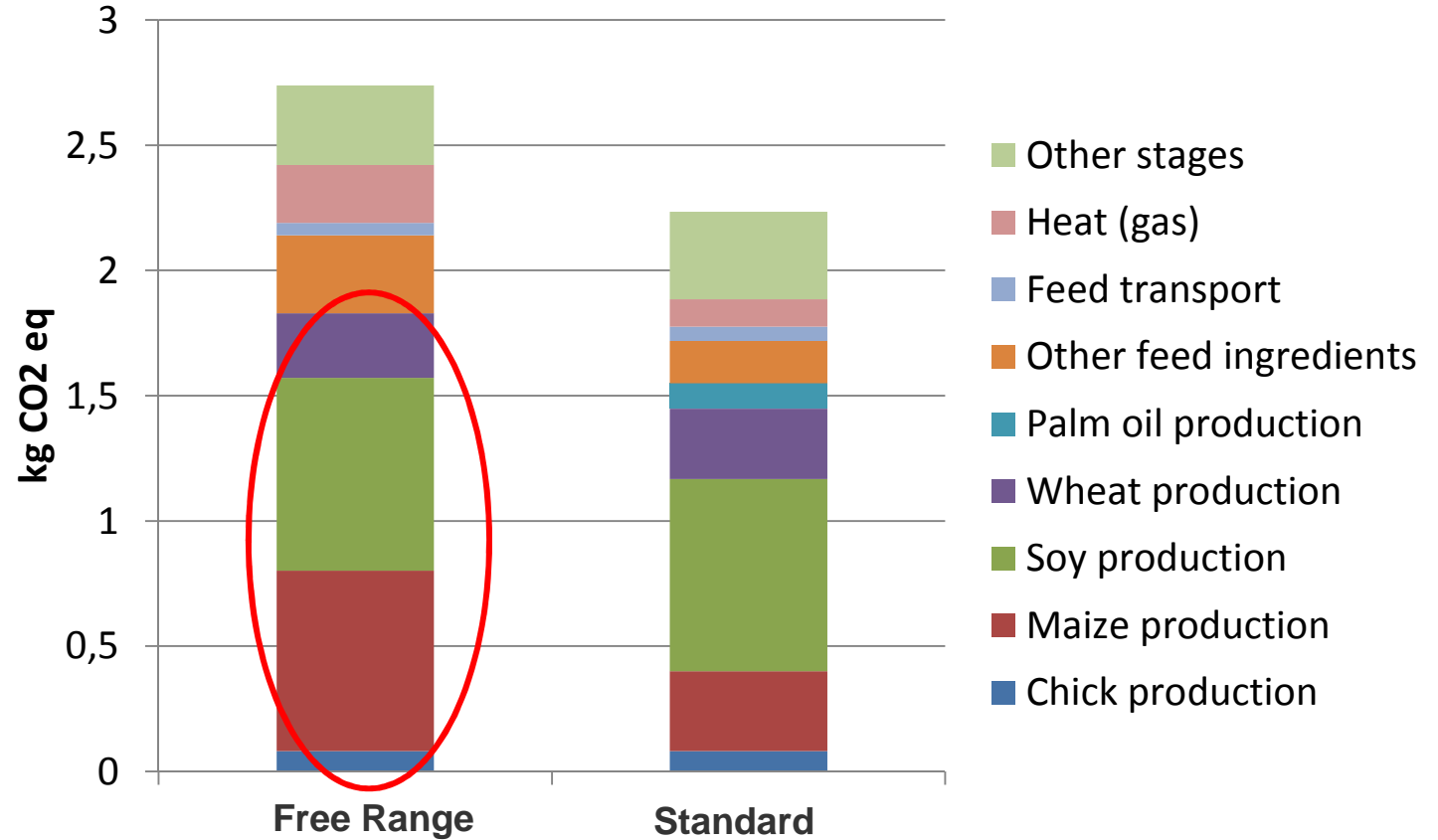
(van der Werf et al., 2011)



# environmental impact of contrasted poultry production

Contribution of two systems to the **climate change**  
UF: 1 kg of chicken live weight at the exit of the farm

Most contribution comes from Soybean and Maize production



58% of the contribution of soya come from deforestation (Soya of Brazil)



# environmental impact of contrasted poultry production

Impacts for 1 kg broiler meat at the slaughterhouse for either Organic, Free Range or Standard animal farm

Impact	Unit	Uncertainty ?		
		Organic	FreeRange	Stand.
Acidification	g SO <sub>2</sub> eq	50	70	41
Eutrophication	g PO <sub>4</sub> eq	28	31	22
Climate change	kg CO <sub>2</sub> eq	2,2	4,1	3,2
Total Energy Used	MJ	32	50	34

For 1 kg meat Standard animal farm has a lower impact because it consumes less animal feed

(van der Werf et al., 2012)

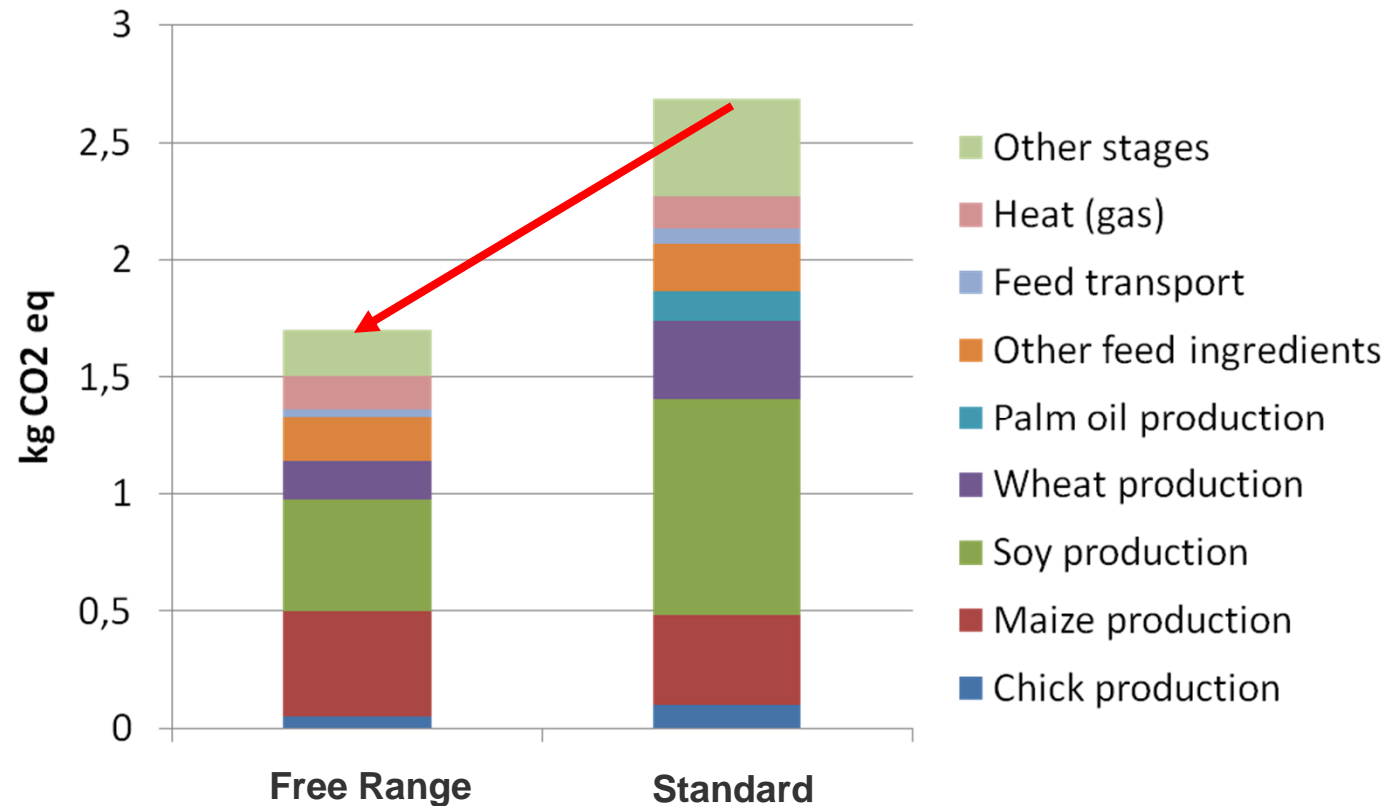


# environmental impact of contrasted poultry production

Contribution of two systems to the **climate change**

UF: 1 euro of chicken live weight at the exit of the farm

Free range production produces less impact at constant budget (1 euro meat)



(van der Werf et al., 2011)



# environmental impact of contrasted poultry production

Impacts for 1 Euro of chicken live weight at the exit of the farm  
For two contrasted farming systems

Impact	Links	Free range	Standard
<b>Acidification</b>	G SO <sub>2</sub> eq	29,3	34,5
<b>Eutrophication</b>	G PO <sub>4</sub> eq	11,9	16,7
<b>Climate change</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,7	2,7
<b>Terrestrial toxicity</b>	G 1,4-dB eq	5,8	7,1
<b>Land use</b>	m <sup>2</sup> has	2,4	3,2
<b>Total Energy Used</b>	MJ	18,3	22,5

For all categories free range production has less impact at constant budget

(van der Werf et al., 2011)



# Enjeux sociétaux associés aux bâtiments

- **Qualité des aliments**
- **Santé des élevages**
- **Bien être animal**
- **Biodiversité des animaux domestiques**
- **Gaz à effet de serre, ammoniac**
- **Déforestation**
- **Accaparement des terres agricoles**
- **etc.**





# Sommaire

- Usages des animaux / des bâtiments d'élevage
- Augmentation de la production animale
- Concentration géographique des animaux
- Enjeux sociétaux associés aux bâtiments
- **Connaissances nécessaires pour « optimiser »**



# Connaissances nécessaires pour « optimiser »

- **Demandes sociétales : cahiers des charges (BEA, santé au travail, centrales d'achat, etc.)**
- **Environnement : « normes » de rejet par animal produit (BREF)**
- **Conduite zootechnique : besoins physiologiques des animaux**
- **Conception : thermique, aéraulique des bâtiments (maîtrise d'ambiance)**
- **Matériels : formation-conseil, maintenance, coûts, temps de travaux**

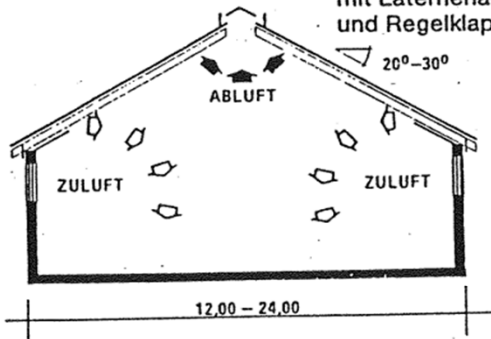


## II. Thermique des bâtiments : maîtriser l'ambiance, les émissions, les effluents

- Ventilation naturelle ou mécanique
- Besoin d'ambiance (T, HR,...)
- Flux de chaleur en élevage
- Production de chaleur
- Équilibre thermique du bâtiment



## Schwerkraftlüftung (Trauf-First-Lüftung)



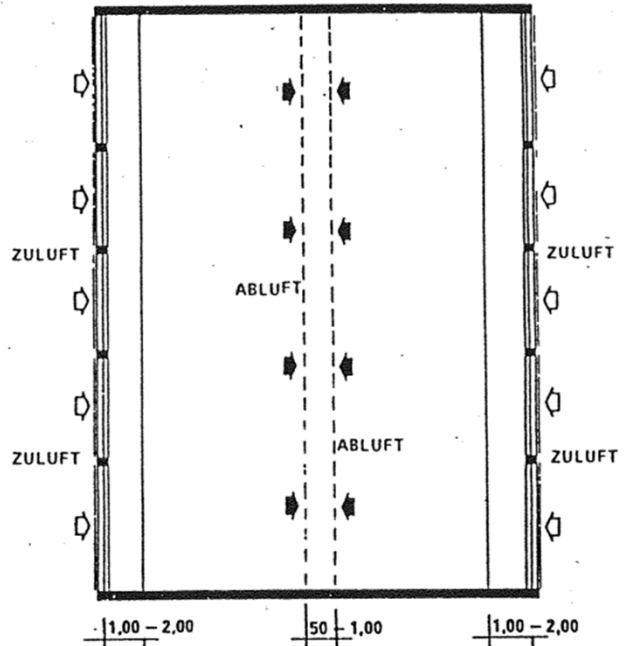
**Abluft:** Im Firstbereich Längsöffnung mit Abdeckhaube und seitlichen Windschutzplatten oder mit Laternenaufbau und Regelklappen

**Zuluft:** Wandöffnungen mit Luftleitplanken und Luftaustrittsöffnungen im Traufbereich

**Regelung der Zuluft** mit Schiebe- oder Klapppläden und der Abluft mit verstellbaren Hauben oder Regelklappen von Hand oder mechanisch Sommerlüftung über geöffnete Fenster und Türen

### Trauf-First-Lüftung

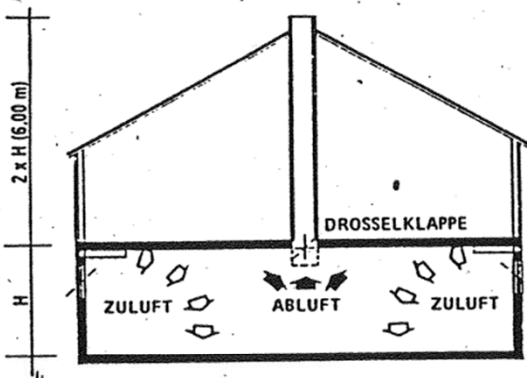
Voraussetzung: Dach = Decke;  
Schwierigkeiten bei Inversionswetterlagen, Zuluft muß regelbar sein;  
Kapitalbedarf wie Unterdrucklüftung



ventilation naturelle par  
lanterneau, rideaux, cheminées

## Schwerkraftlüftung

Schachtlüftung  
mindestens 5 m Schachthöhe erforderlich, funktionsfähig  
nur bei niedrigen Außentemperaturen, keine Energiekosten;  
Kapitalbedarf wie Unterdrucklüftung

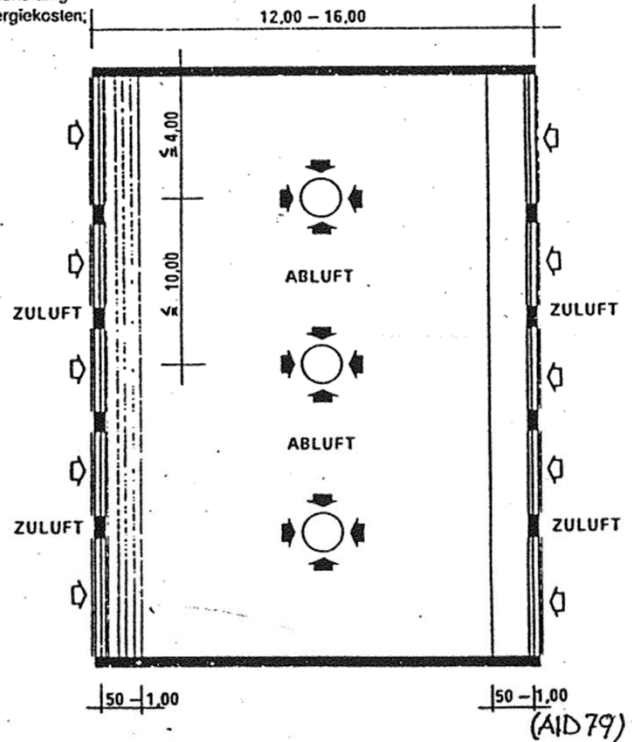


**Zuluft:** Wandöffnungen mit Luftleitplanken und Schlitzen oder Luftaustrittsöffnungen

**Abluft:** Dunstkamin mit Drosselklappe

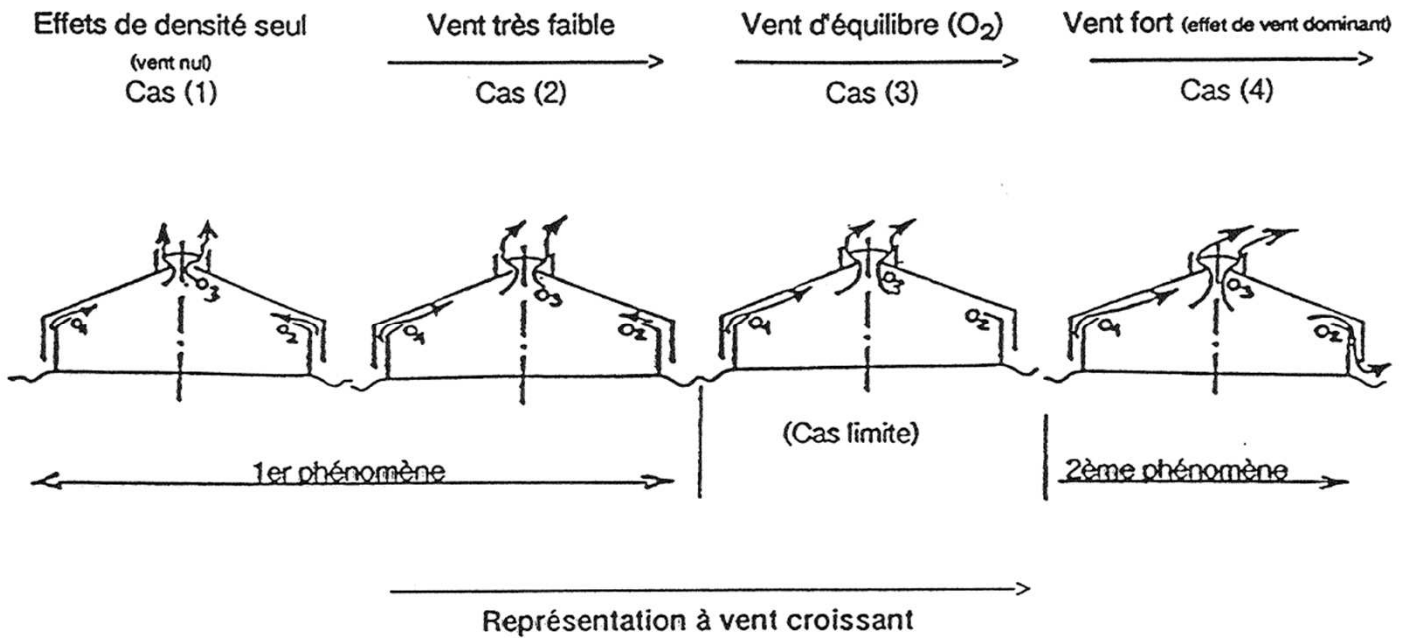
Im Sommer zusätzlich Fenster und Türen öffnen für die Be- und Entlüftung

Anwendung für kleine Tierbestände und bei Stallum- und -einbauten



Cours, Epinaljaff

(AID 79)



en ventilation naturelle le débit et la circulation de l'air sont influencés par :

1. La force et la direction du vent
2. La surface des ouvrants
3. La différence de hauteur
4. L'écart de température ( $T_{int} > T_{ext}$  ou  $T_{int} < T_{ext}$ )
5. L'écart de teneur en eau ( $q_{int} > q_{ext}$ )



Abb. 7: Eindringtiefe von Luftstrahlen in Abhängigkeit von Art und Lage der Zuluftöffnungen

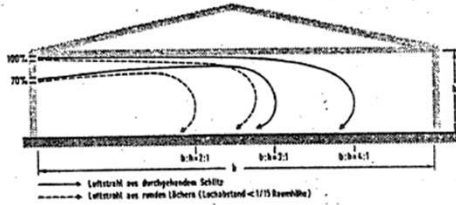


Abb. 8: Unterdrucksystem in einem schmalen Stall,  $b:h = 3:1$

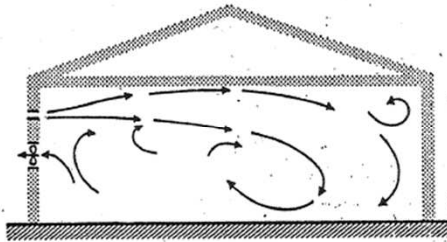


Abb. 9: Überdrucksystem in einem schmalen Stall,  $b:h = 3:1$

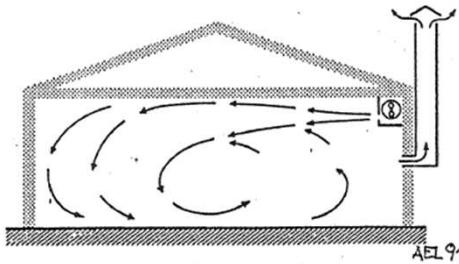


Abb. 1: Freistrah

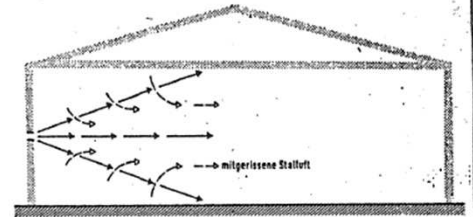
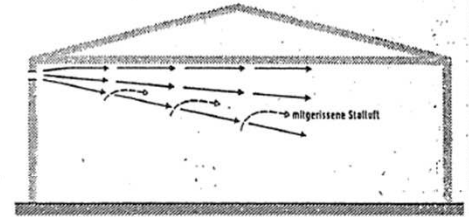
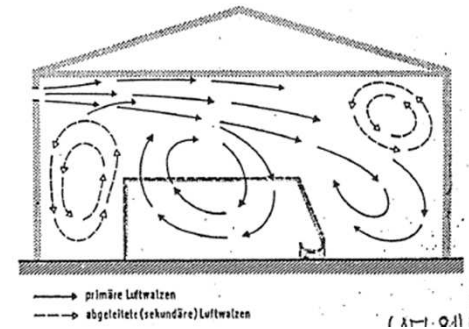


Abb. 2: Halbstrahl



Strahlen, die an einer ebenen oder nahezu ebenen Fläche (z. B. Stalldecke) entlangströmen, sind als Halbstrahlen (Deckenstrahlen) anzusehen.

Abb. 6: Schematische Darstellung von primären und sekundären Luftwalzen



ventilation mécanique en surpression ou en dépression  
le circuit d'air est influencé par :

1. La position des entrées et sorties d'air
2. La surface et la géométrie des ouvrants
3. La différence de température
4. Les obstacles sur le trajet de l'air



## Le besoin d'ambiance dépend de l'espèce et du stade physiologique

- Dépendance stricte à la température
- Dépendance moindre à la vitesse d'air
- Dépendance faible à l'hygrométrie

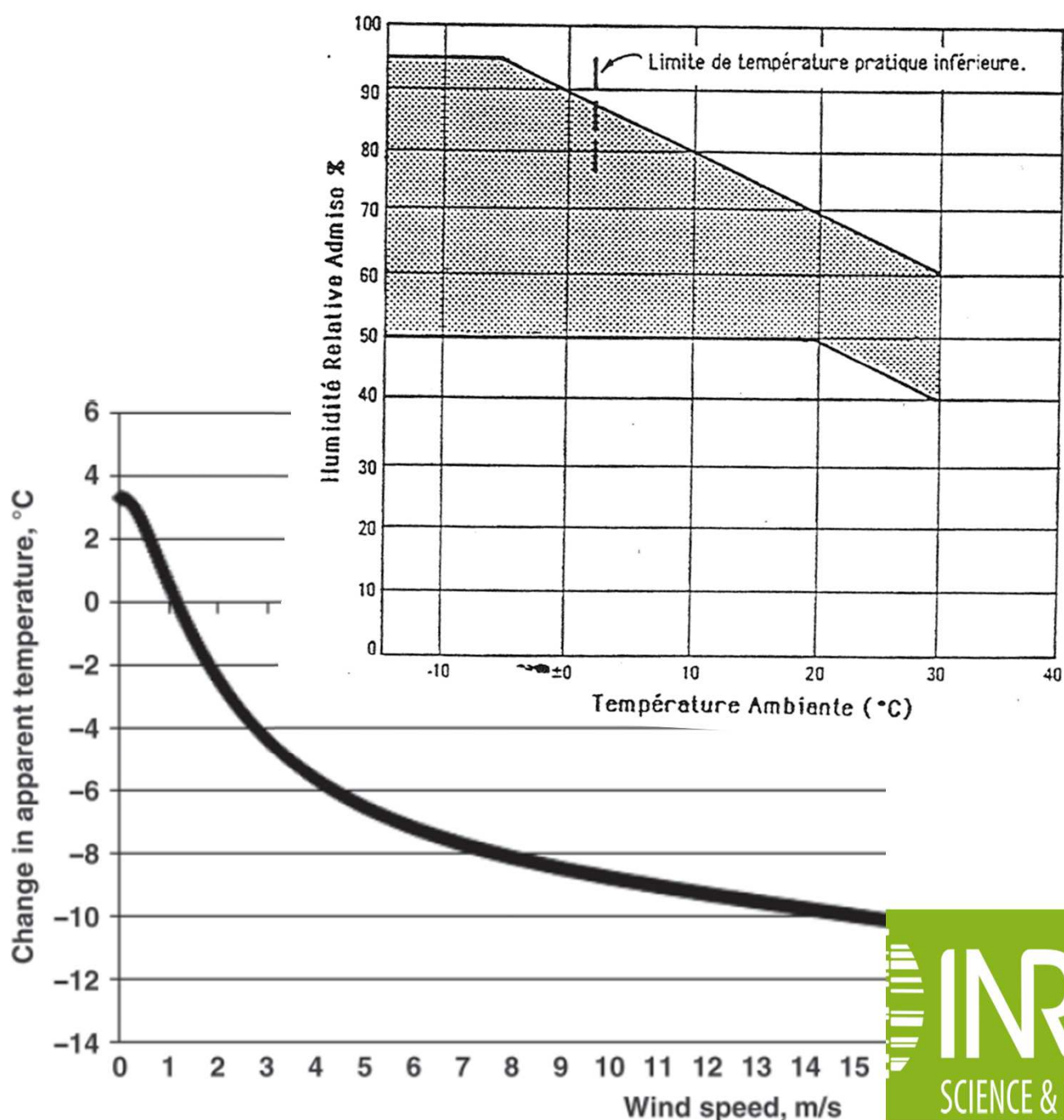
Type d'Animal Poids Corporel.	Truies gestantes et verrats			Truies allaitantes		
	150 <sup>(1)</sup>	200 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	150 <sup>(2)</sup>	200 <sup>(2)</sup>	250 <sup>(2)</sup>
<b>Ambiance recommandée</b>						
Température critique inférieure °C	15	15	15	18	18	18
Températures conseillées °C	Eté	30	30	30	30	30
	Hiver	15	15	15	18	18
Humidité Relative conseillée %	Hiver	75	75	75	72	72

Type d'Animal Poids Corporel.	kg	Porcelets				Porcs à l'Engrais				
		2	5	10	20	30	40	60	80	100
<b>Ambiance recommandée</b>										
Température critique inférieure °C		28	25	24	20	17	15	13	13	13
Températures conseillées °C	Eté	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Hiver	28	25	24	20	17	15	13	13	13
Humidité Relative conseillée %	Hiver	*	*	66	70	73	75	77	77	77



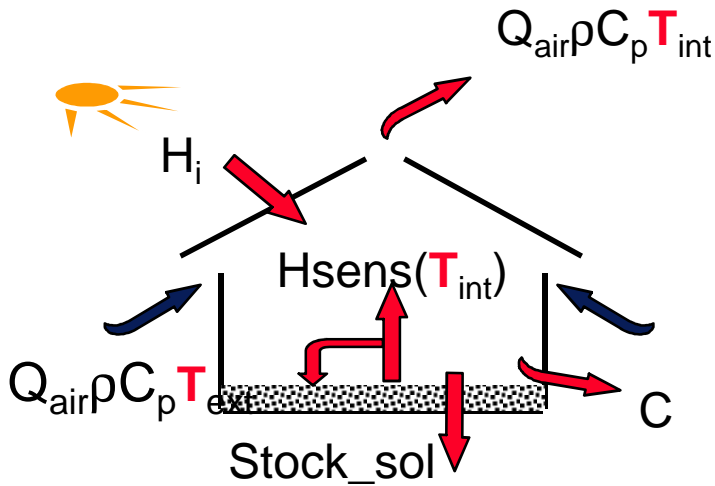
## Le besoin d'ambiance dépend de l'espèce et du stade physiologique

- Dépendance stricte à la température
- Dépendance moindre à la vitesse d'air
- Dépendance faible à l'hygrométrie





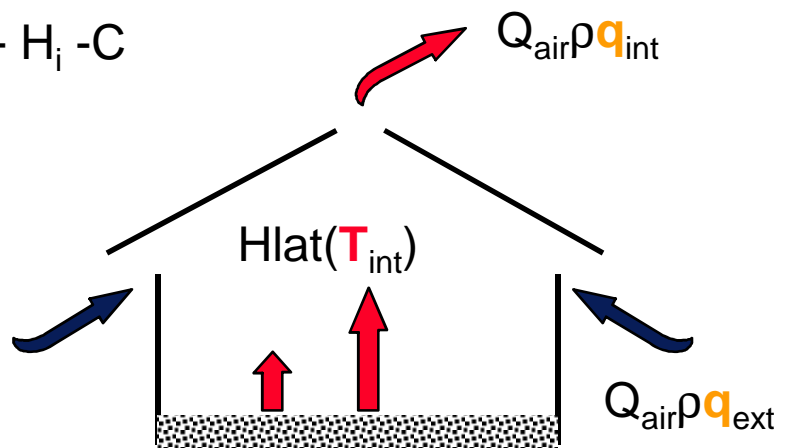
# Les phénomènes : **sans** eau évaporée



## Bilan de chaleur sensible

- Pertes ventilation (convection)
- Pertes parois par conduction
  - Inertie thermique
- Apports animaux, litière
- Apports chauffage+éclairage
  - Apports radiatifs

$$Q_{air}\rho C_p(T_{int}-T_{ext}) = H_{sens} + H_i - C$$



## Bilan de chaleur latente (vapeur d'eau)

- Pertes ventilation
- Apports animaux, litière

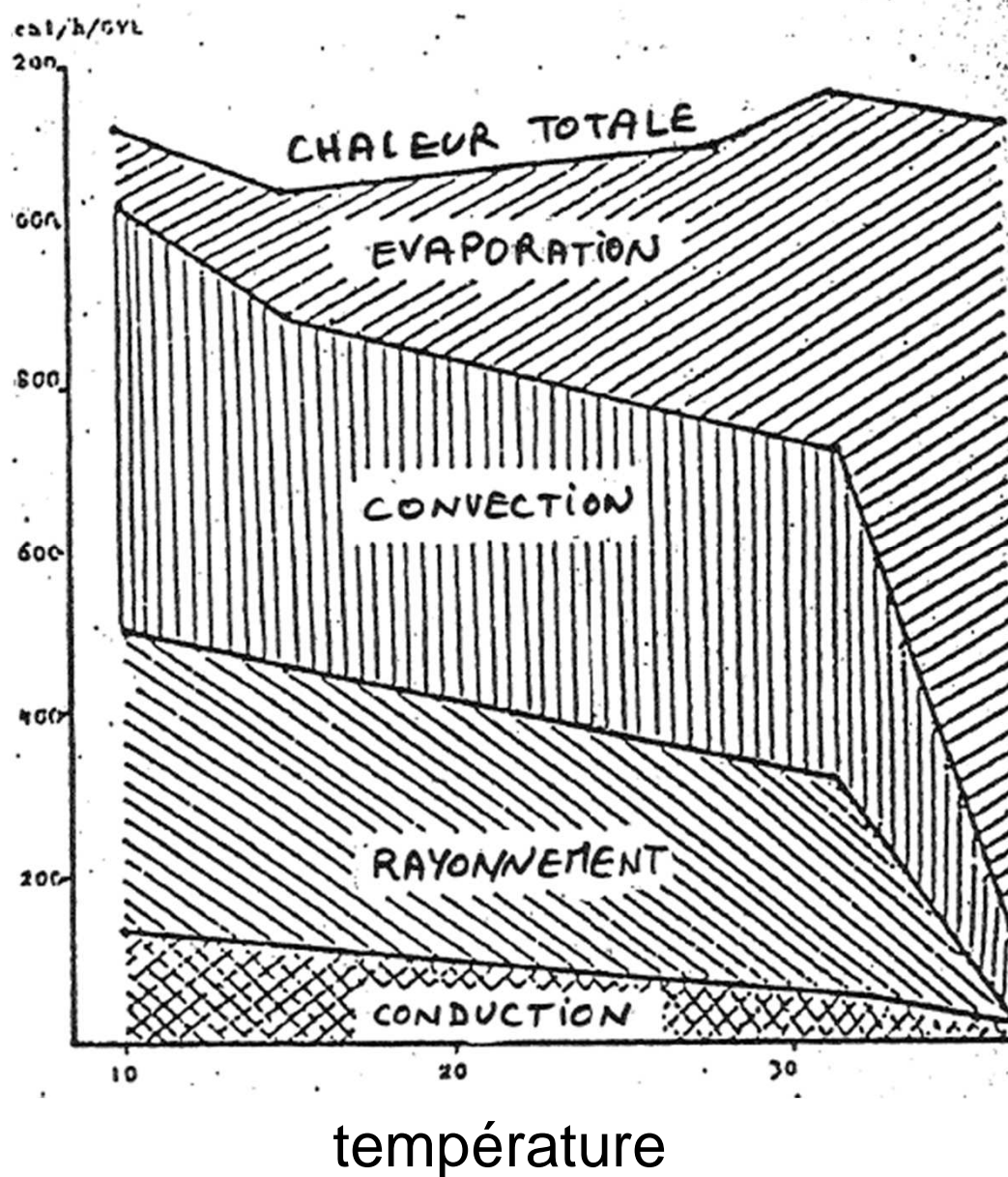
$$Q_{air}\rho (q_{int}-q_{ext}) = H_{lat}$$

$$Q_{air} = f(\text{bâtiment, charge animale, } T_{ext}, q_{ext}, H_i, H_{sens}, H_{lat})$$

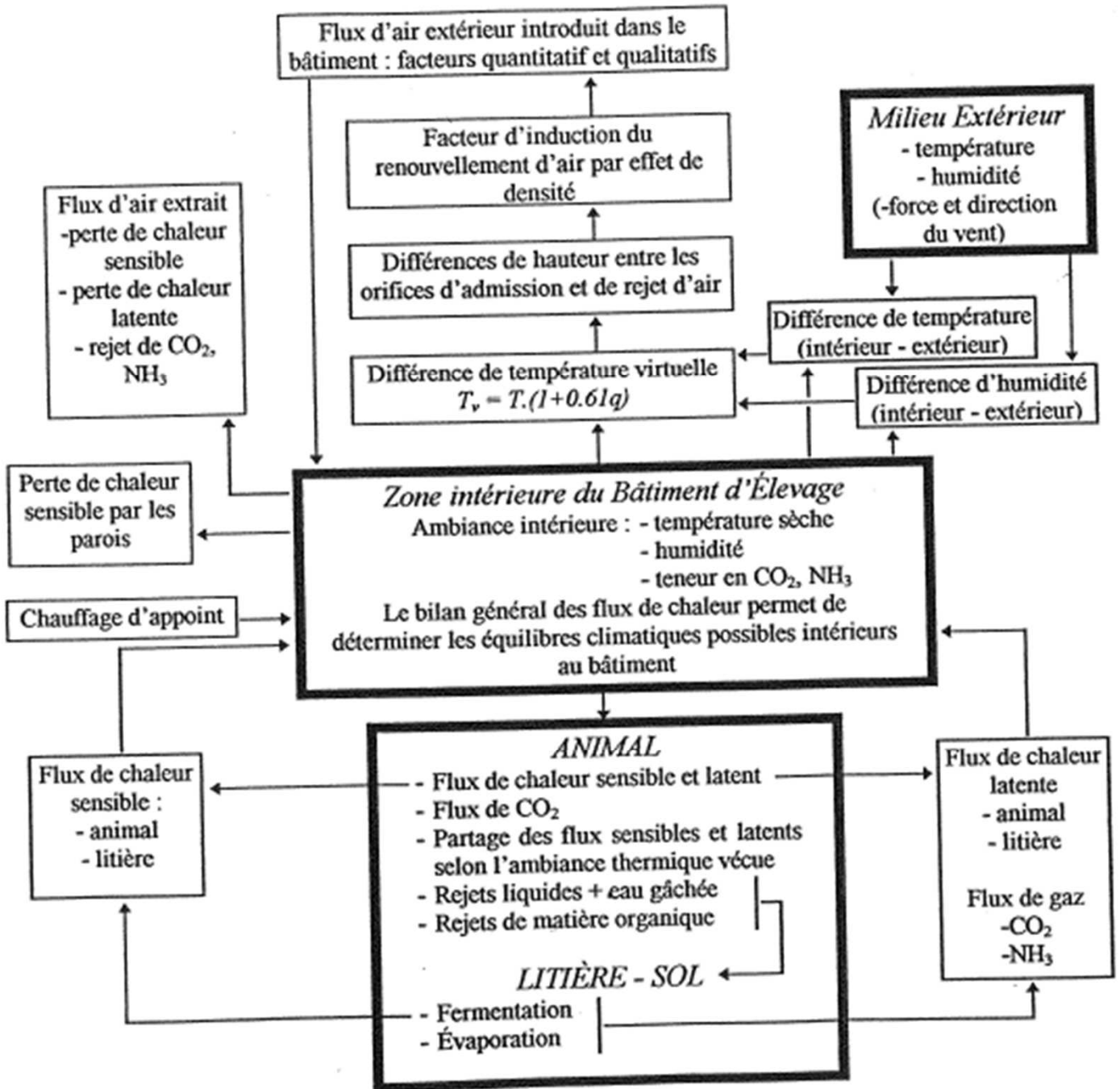
**avec** eau évaporée : transfert sensible => latent



# Les phénomènes : terminologie des flux thermiques



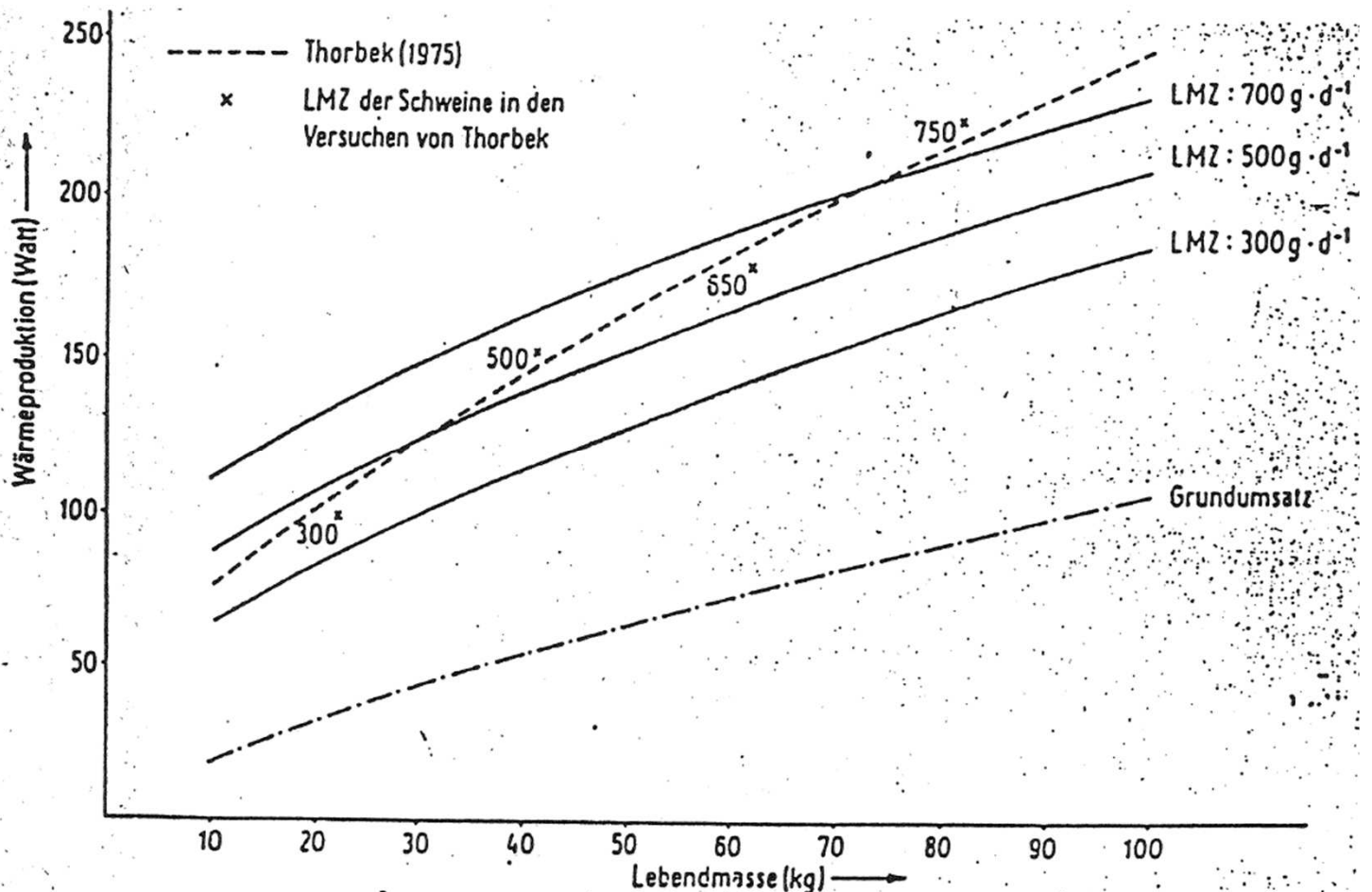
# Les phénomènes : les interactions entre flux



# Production de chaleur des animaux

La **production** de chaleur dépend :

- Du poids
- De la production (croissance, lait, œufs, gestation)
- De l'activité
- De la température
- De la santé



## La **production** de chaleur dépend :

- Du poids
- De la **production** (croissance, lait, œufs, gestation)
- De l'activité
- De la température
- De la santé

December, 2002

International Commission of Agricultural Engineering, Section II



4th Report of Working Group  
on

### Climatization of Animal Houses

Heat and moisture production  
at animal and house levels

Editors: Pedersen, S. & Sällvik, K.

2002



## 2.2. Cattle

### 2.2.1 Calves

$$\Phi_{tot} = 6.44m^{0.70} + \left[ \frac{13.3Y_2(6.28 + 0.0188m)}{1 - 0.3Y_2} \right], W \quad (1)$$

$Y_2$  = daily gain, normally 0.5 kg/day.

### 2.2.2 Veal calves, beef cattle

$$\Phi_{tot} = 7.64m^{0.69} + Y_2 \left[ \frac{23}{M} - 1 \right] \left[ \frac{57.27 + 0.302m}{1 - 0.171Y_2} \right], W \quad (2)$$

$Y_2$  = daily gain, 0.7-1.1 kg/day

$M$  = Energy content MJ/kg dry matter

( $M=10$  MJ/kg<sub>dry matter</sub> for roughage)

( $M=11-12$  MJ/kg<sub>dry matter</sub> for concentrates)

### 2.2.3 Heifers

$$\Phi_{tot} = 7.64m^{0.69} + Y_2 \left[ \frac{23}{M} - 1 \right] \left[ \frac{57.27 + 0.302m}{1 - 0.171Y_2} \right] + 1.6 \times 10^{-5} p^3, W \quad (3)$$

$Y_2$  = daily gain, 0.6 kg/day.

### 2.2.4 Cows

$$\Phi_{tot} = 5.6m^{0.75} + 22Y_1 + 1.6 \times 10^{-5} p^3, W \quad (4)$$

$Y_1$  = milk production, kg/day

$P$  = Days of pregnancy.

## 2.3 Pigs

### 2.3.1 Piglets

$$\Phi_{tot} = 7.4m^{0.66} + (1 - K_Y)(\Phi_d - \Phi_m), W \quad (5)$$

$K_Y = 0.47 + 0.003m$

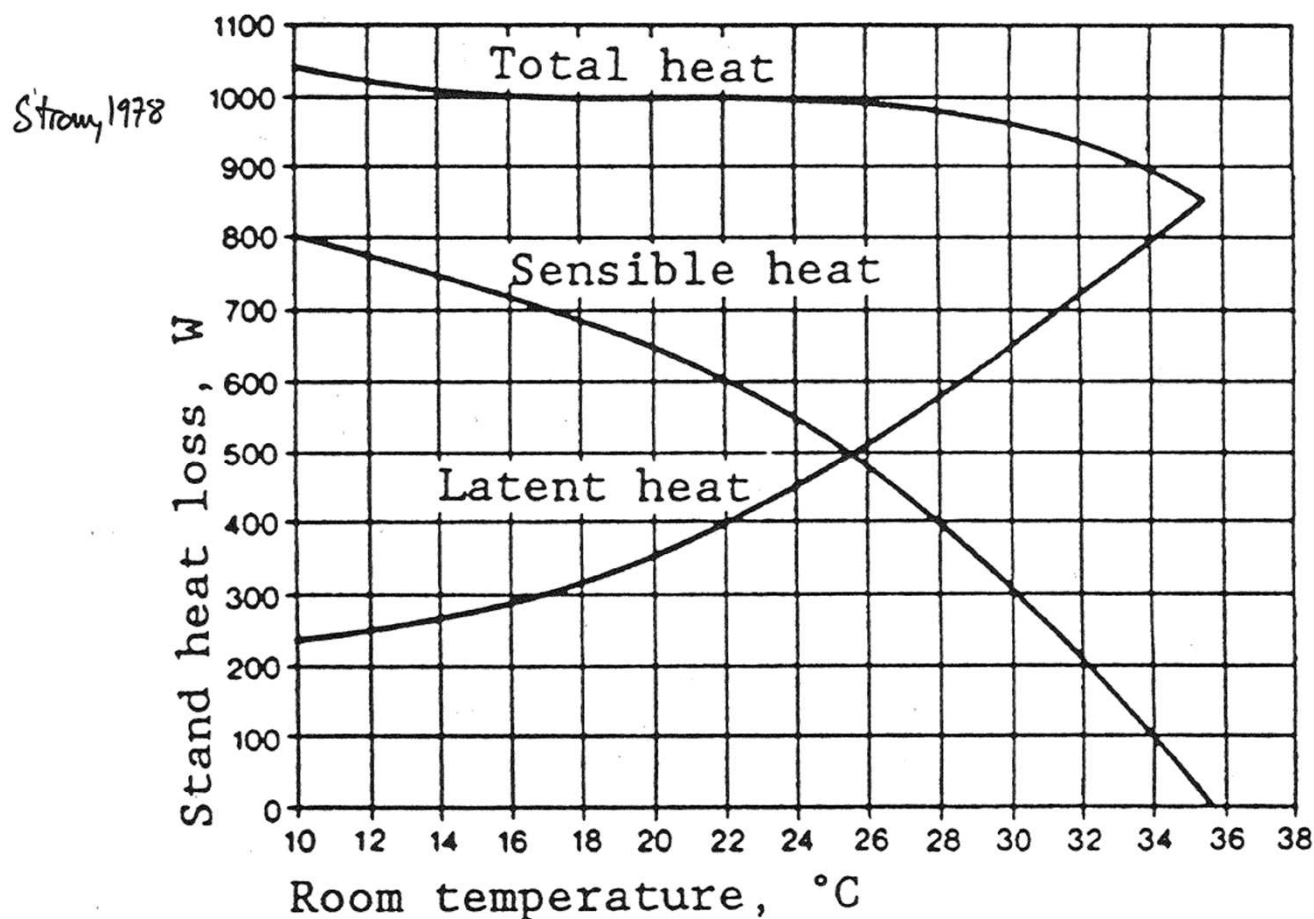
$\Phi_d = n\Phi_m$

or:

$$\Phi_{tot} = 7.4m^{0.66} + [1 - (0.47 + 0.003m)][n \times 7.4m^{0.66} - 7.4m^{0.66}], W \quad (6)$$

La **répartition** entre chaleur sensible et latente (vapeur d'eau) dépend :

- De la température
- De la vitesse d'air
- De la densité animale
- De la production de chaleur par les animaux
- De la production de chaleur par la litière



La **répartition** entre chaleur sensible et latente (vapeur d'eau) dépend :

- De la température
- De la vitesse d'air
- De la densité animale
- De la production de chaleur par les animaux
- De la production de chaleur par la litière

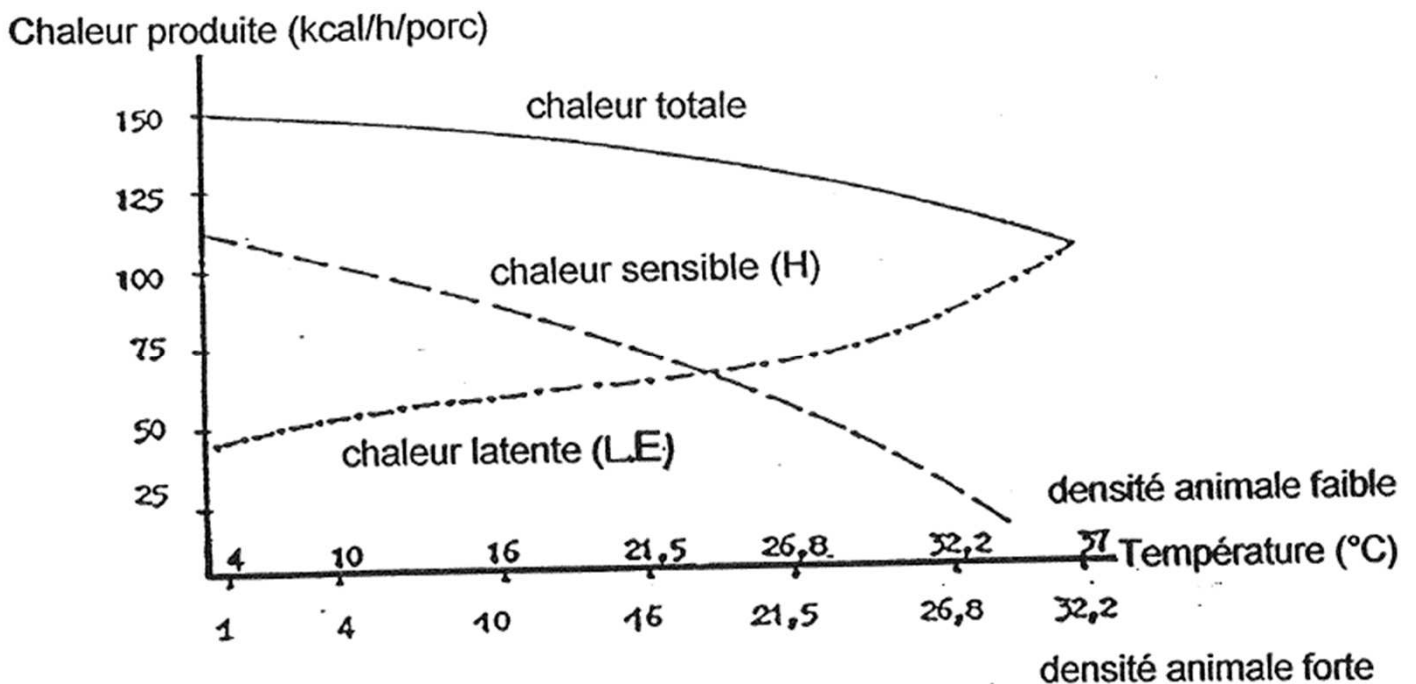
	<b>Volailles non emplumées (&lt;30 jours)</b>	<b>Volailles emplumées (&gt;30 jours)</b>
<b>Air calme</b>	<b><math>V = 0,10 \text{ m/s}</math></b>	<b><math>V = 0,2 \text{ à } 0,3 \text{ m/s}</math></b>
<b>Par élévation de <math>0,10 \text{ m/s}</math></b>	<b>Baisse de la TEV de <math>2^\circ\text{C}</math></b>	<b>Baisse de la TEV de <math>1 \text{ à } 1,5^\circ\text{C}</math></b>
<b>exemple</b>	<b><math>V = 0,3 \text{ m/s}</math> <math>T^\circ \text{ amb.} = 30^\circ\text{C}</math> <math>\text{TEV} \approx 26^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>V = 0,5 \text{ m/s}</math> <math>T^\circ \text{ amb.} = 25^\circ\text{C}</math> <math>\text{TEV} \approx 22^\circ\text{C}</math></b>
<b>(G. Amand, ITAVI)</b>		

Concept : TEV = température effectivement vécue



La **répartition** entre chaleur sensible et latente (vapeur d'eau) dépend :

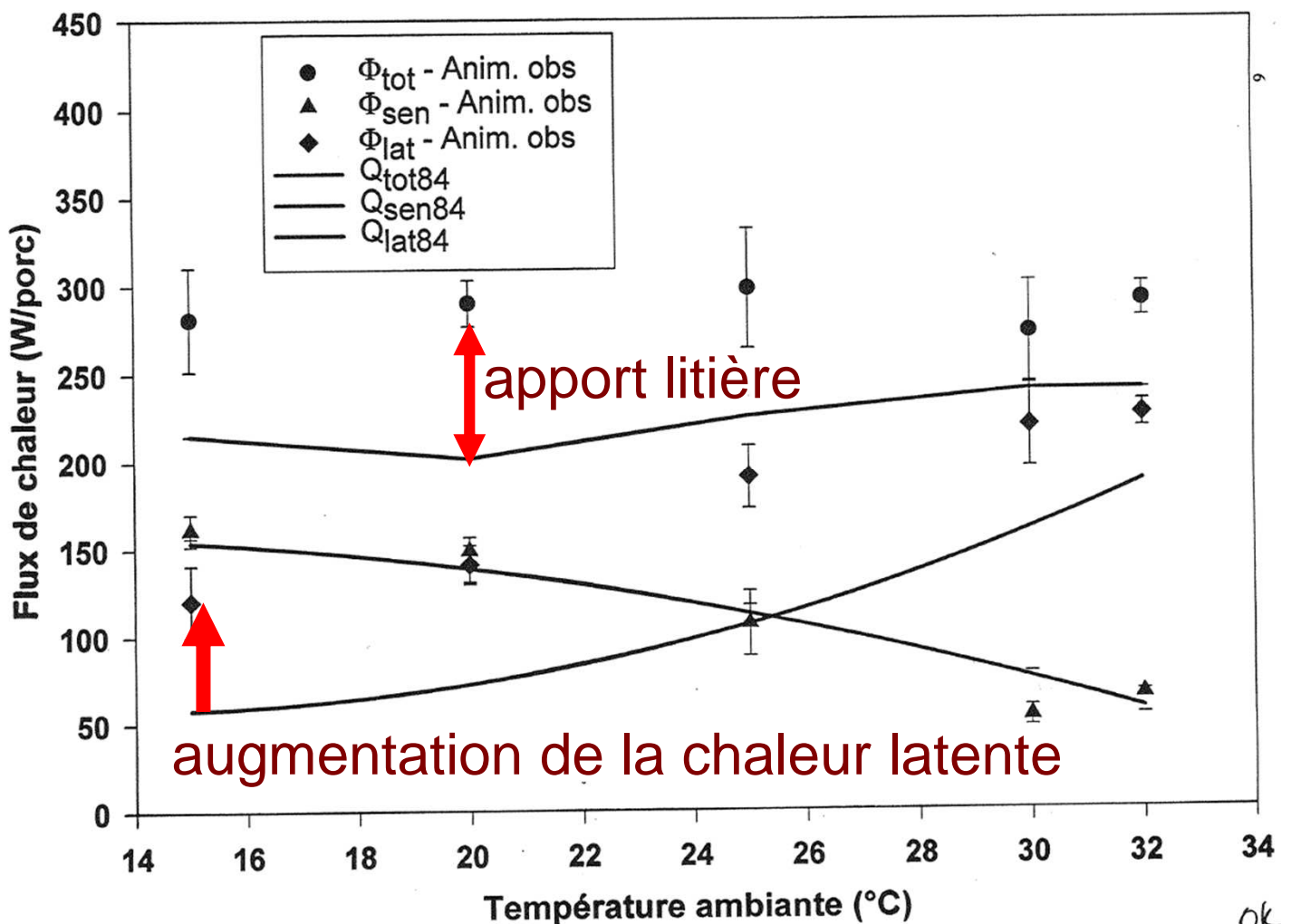
- De la température
- De la vitesse d'air
- De la densité animale
- De la production de chaleur par les animaux
- De la production de chaleur par la litière



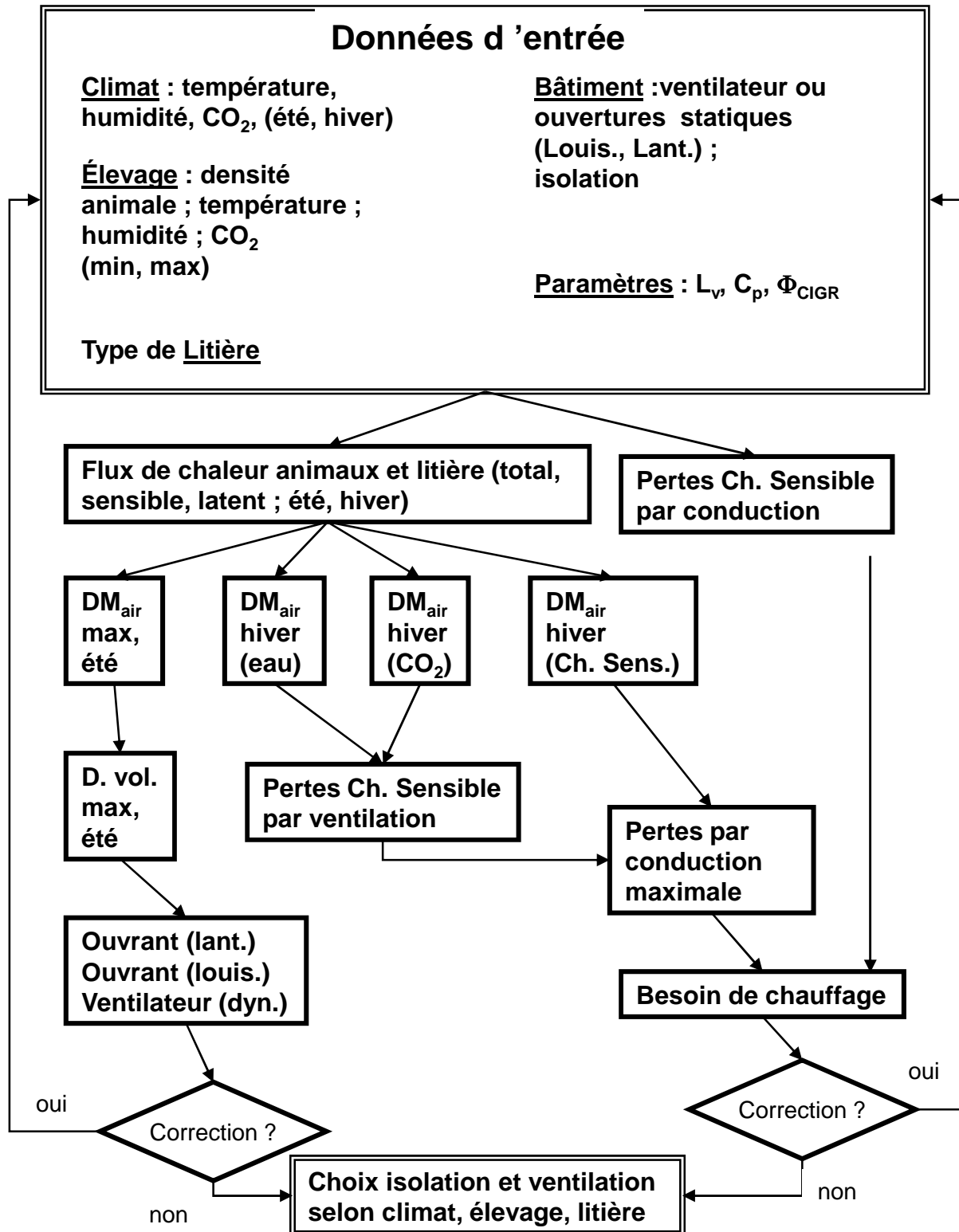


La **répartition** entre chaleur sensible et latente (vapeur d'eau) dépend :

- De la température
- De la vitesse d'air
- De la densité animale
- De la production de chaleur par les animaux
- De la production de chaleur par la litière

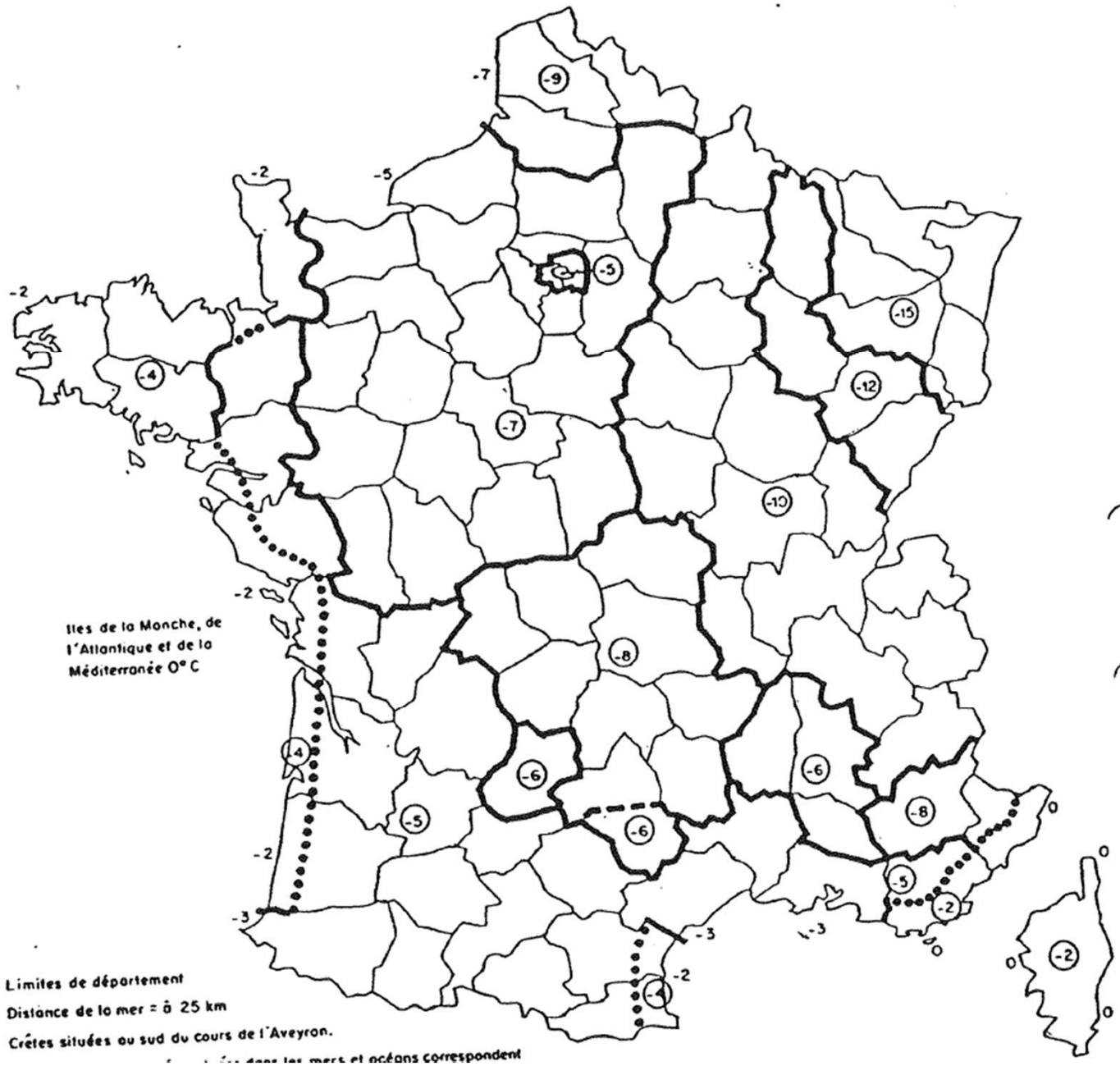


# Équilibre thermique du bâtiment



# Équilibre thermique du bâtiment :

## *cartes de référence pour les conditions extérieures*



## Équilibre thermique du bâtiment : *Exemple de calcul d'ambiance*

Salle d'élevage de porcs :

- Coefficient isolation = 1 W/K/porc
- Capacité calorifique : 1010 J/kg air sec/K
- Masse volumique : 1,01 kg air sec/m<sup>3</sup> air humide
- Chaleur latente de vaporisation : 2,45 J/kg eau
- Text = 10°C ; qext = 5 g eau/kg air sec
  
- Production de chaleur : porcs de 80 kg
- Tint = 22°C

➔ Calculer :

- Chaleur totale, sensible, latente (CIGR, 2002)
- Perte parois, perte ventilation de chaleur sensible, débit d'air
- Production de vapeur d'eau, humidité de l'air ambiant

(diagramme psychrométrique)

