LIÈGE université
Médecine Vétérinaire

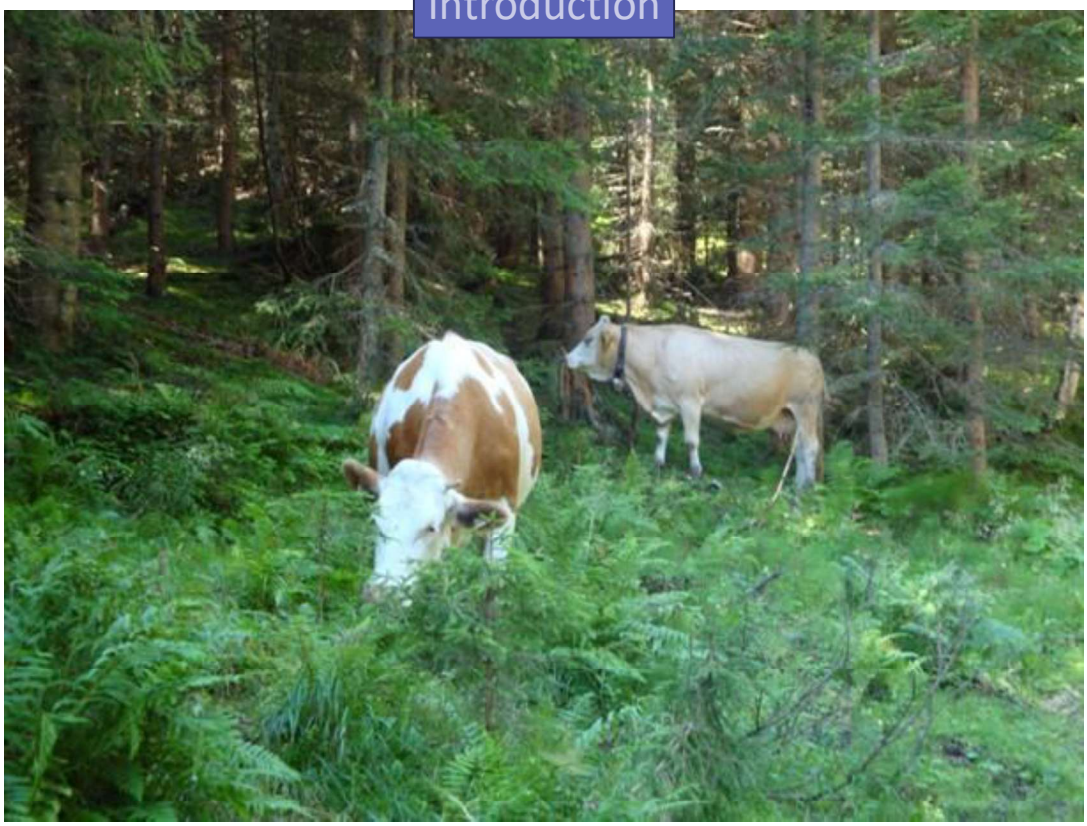
Adaptation des bâtiments d'élevage face aux changements climatiques

Jean-François Cabaraux
Professeur associé
Département de gestion vétérinaire des Ressources Animales (DRA)

10 novembre 2026

EFACC
European Farmers for Adaptation to Climate Change

Introduction



jfcabaraux@uliege.be

Introduction



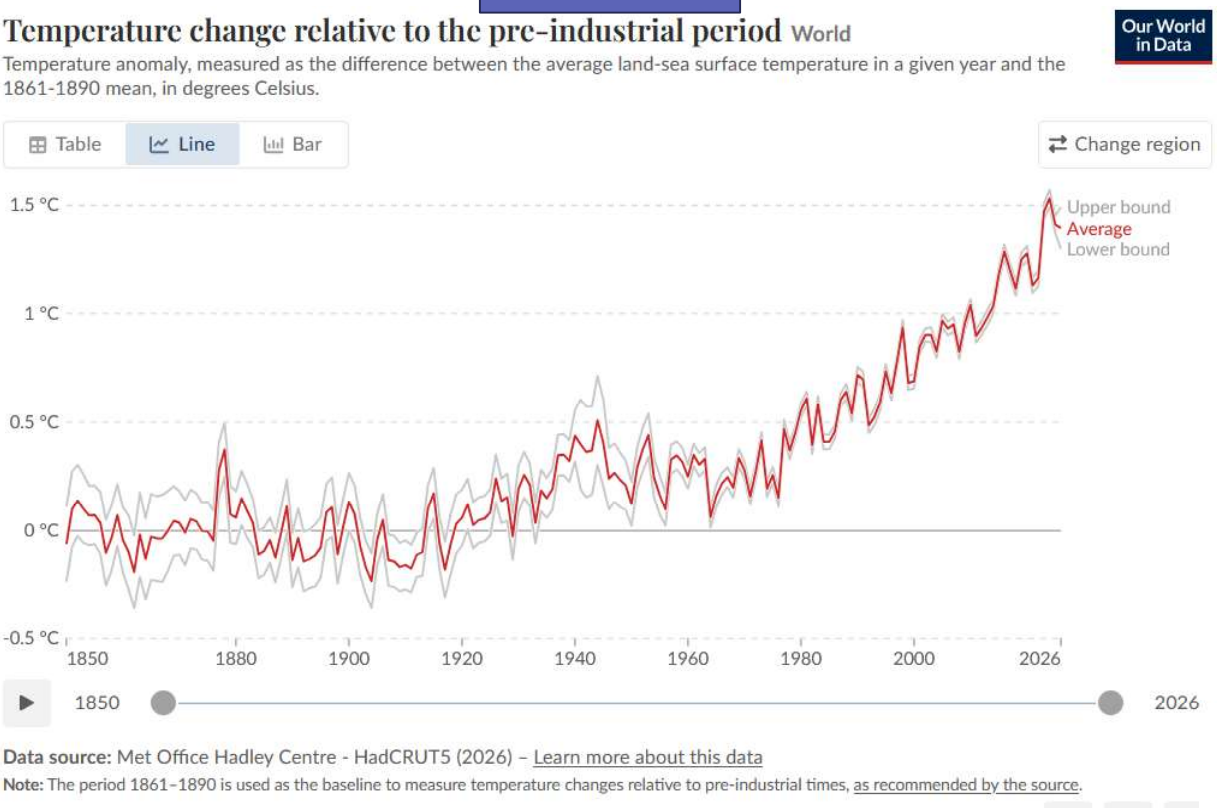




LIÈGE université
Médecine Vétérinaire

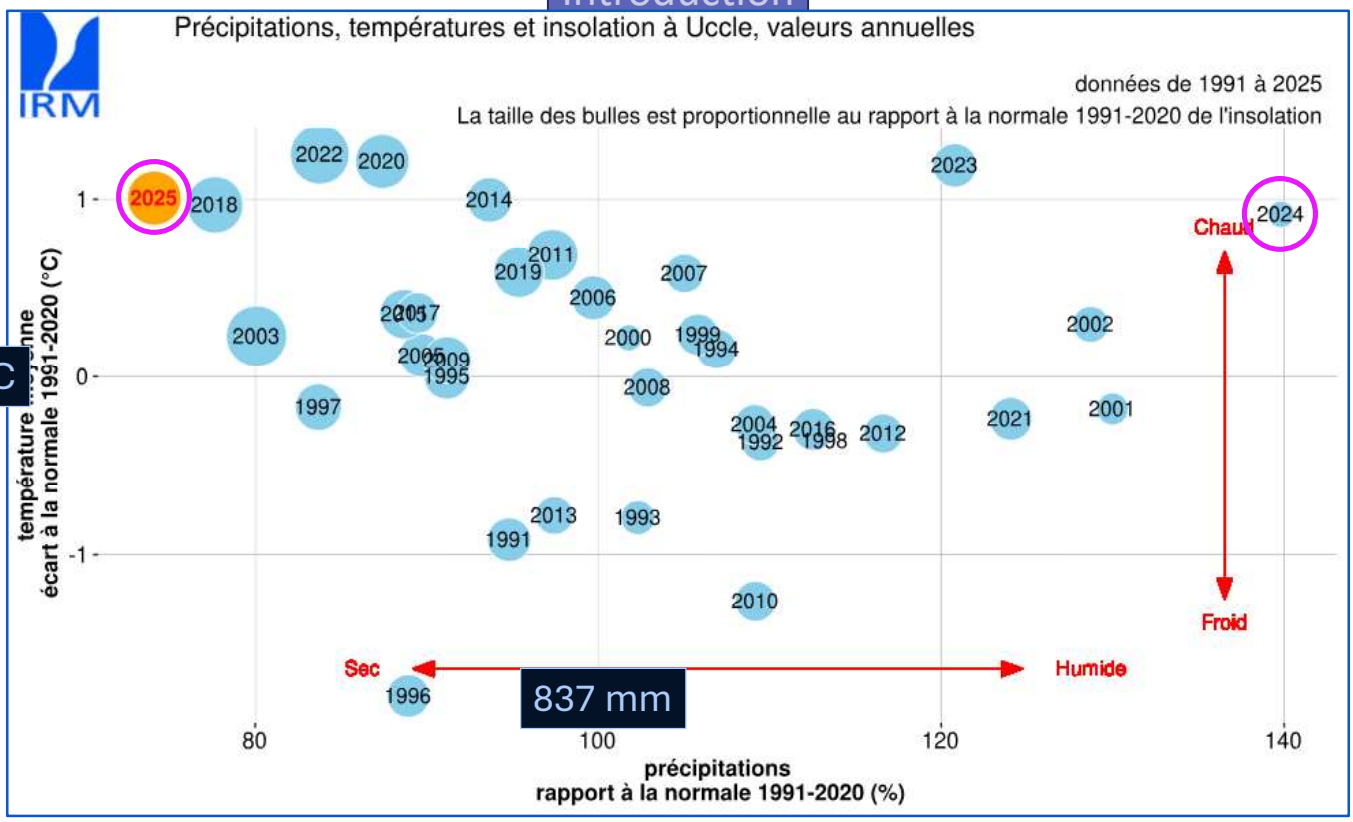
jfcabaraux@uliege.be

Introduction



jfcabaraux@uliege.be

Introduction



jfcabaraux@uliege.be

Introduction

Co-funded by the European Union

EFACC

European **F**armers for
Adaptation to **C**limate **C**hange

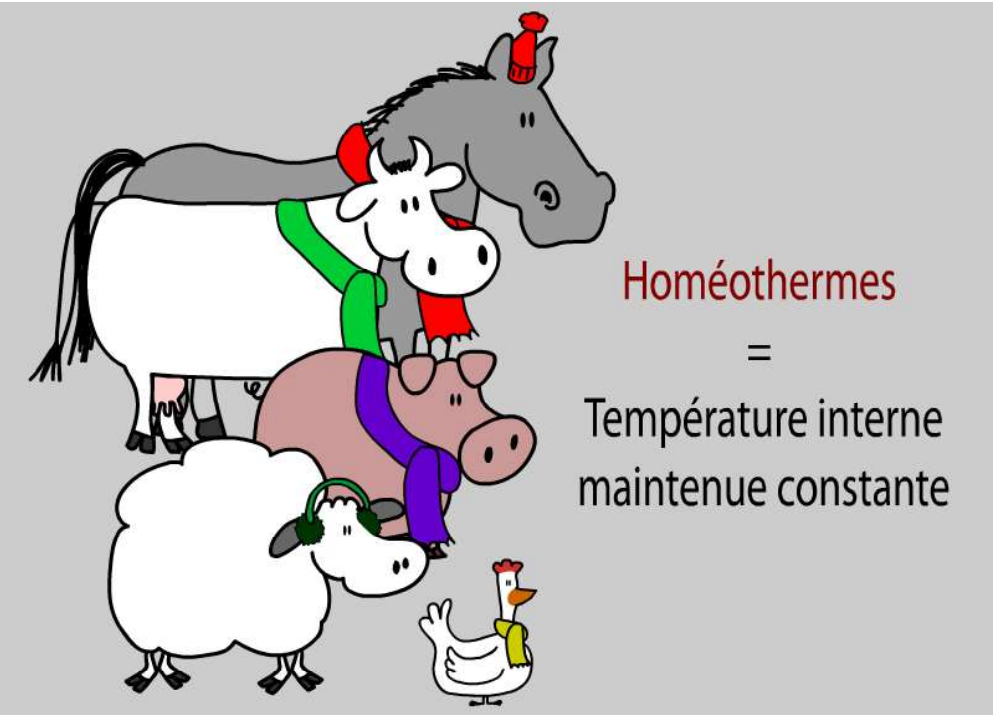
- Objectifs principaux
  - Durée : 7 ans (2026–2032).
  - Pays partenaires : 6 pays (Belgique, France, Allemagne, Grèce, Italie et Espagne).
  - Cible : Les filières bovines, ovines et caprines.
  - But : Tester et valider 70 pratiques concrètes d'adaptation en ferme, pour toucher 50 000 éleveurs d'ici la fin du projet.

jfcabaraux@uliege.be

Homéothermie

jfcabaraux@uliege.be

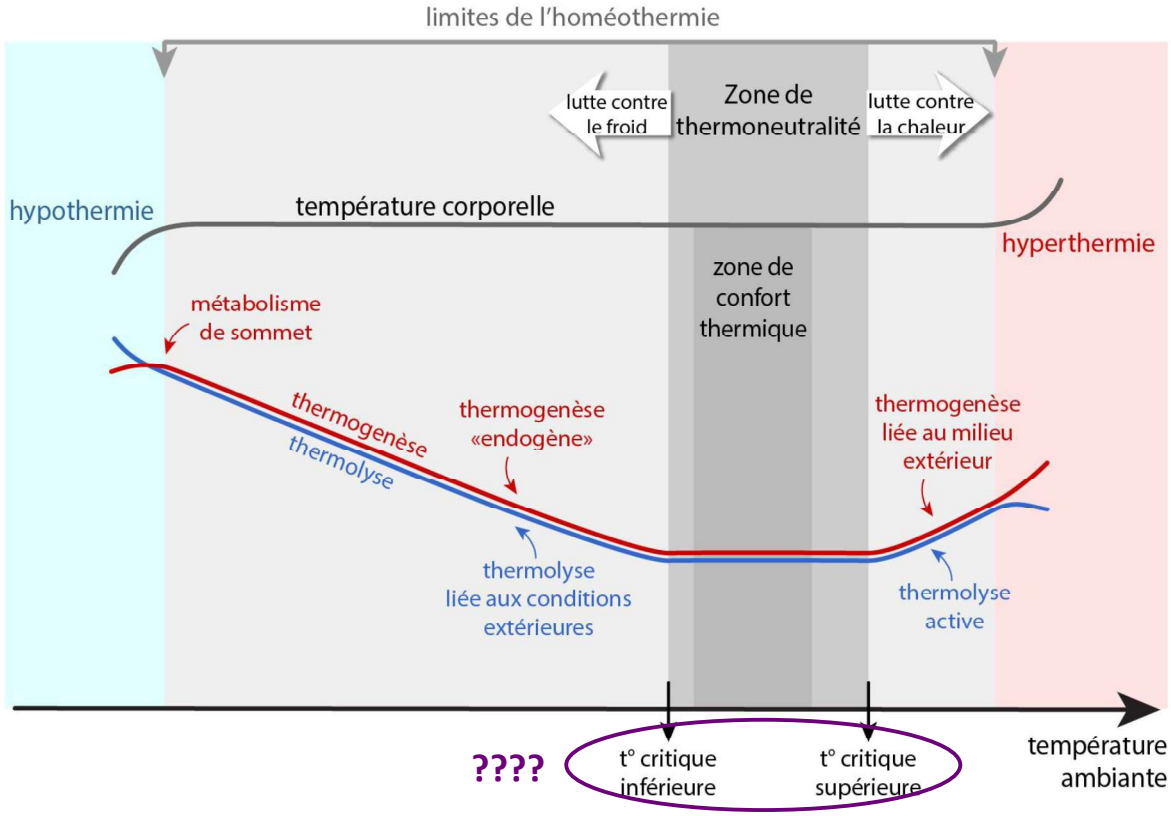
Homéothermie



quantité de chaleur produite = quantité de chaleur perdue

jfcabaraux@uliege.be

Homéothermie



LIÈGE université Médecine Vétérinaire
jfcabaraux@uliege.be

Homéothermie

Raisons zootechniques (et de travail)

BOVINS	Minimum (1)	Optimum (1)	Maximum (1)
a) Vaches laitières			
-Stabulation libre à logettes	-5	5 à 15	25
-Stabulation entravée	+5	5 à 15	25
b) Bétail à l'engrais	-5	5 à 15	25
c) Vaches allaitantes	-5	5 à 15	25
d) Veaux d'élevage			
- moins de 3 mois	10	15 à 20	20
- plus de 3 mois	5	10 à 15	20
e) Veaux de boucherie	10	15 à 20	20

jfcabaraux@uliege.be

Homéothermie

Les températures critiques inférieures des veaux nouveau-nés sont :

	Températures (°)
Veau debout, vitesse de l'air de 2 m/s	19
Veau debout, vitesse de l'air de 0.2 m/s	11
Veau couché sur du béton	18
Veau couché sur du bois	11
Veau couché dans de la paille sèche	moins de 6



jfcabaraux@uliege.be

Homéothermie

- Chaleur sensible
  1. Rayonnement
  2. Convection
  3. Conduction

➔ Pertes et gains de chaleur = échanges

- Chaleur latente
  4. Évaporation d'eau

➔ Pertes de chaleur uniquement



https://encrypted-tbn0.gstatic.com

jfcabaraux@uliege.be

Pertes/gains de chaleur

1. Rayonnement
   - Ondes électromagnétiques
   - **Pas** de matière

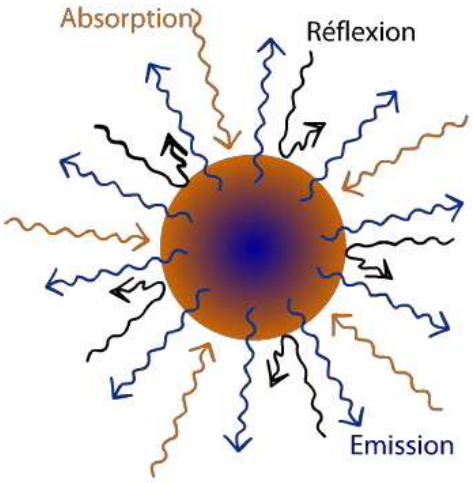


jfcabaraux@uliege.be

Pertes/gains de chaleur

1. Rayonnement

- Ondes électromagnétiques
- **Pas** de matière
- Indépendant de la température de l'air et de la vitesse de l'air

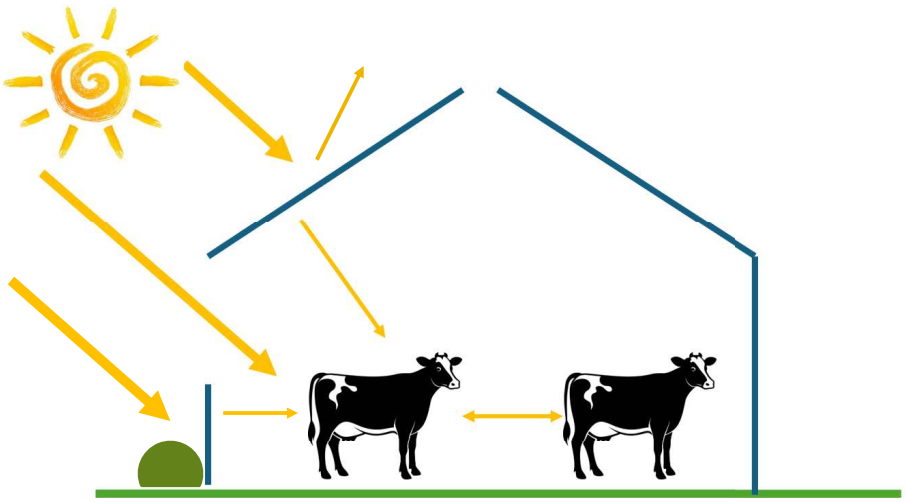


jfcabaraux@uliege.be

Pertes/gains de chaleur

1. Rayonnement

- Ondes électromagnétiques
- **Pas** de matière
- Indépendant de la température de l'air et de la vitesse de l'air



jfcabaraux@uliege.be

Pertes/gains de chaleur

1. Rayonnement
   - Ondes électromagnétiques
   - **Pas** de matière
   - Indépendant de la température de l'air et de la vitesse de l'air
   - Adaptations comportementales

     ex: ombre



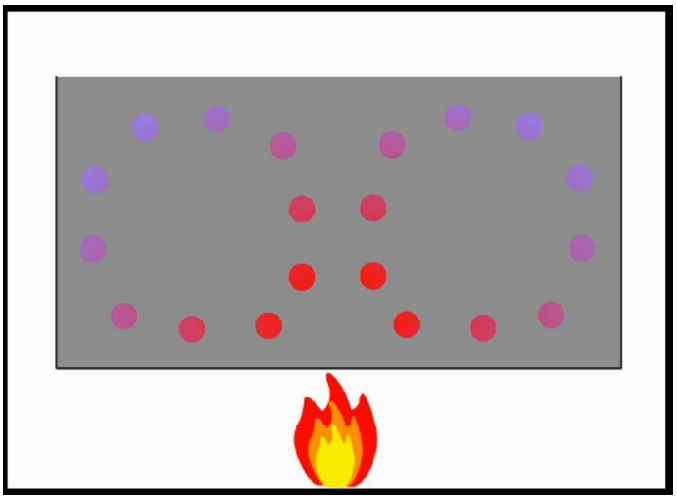
https://www.agri53.fr/reussir/photos/53/img/0SV88CF81_web.jpg

jfcabaraux@uliege.be

Pertes/gains de chaleur

2. Convection

- Fluides: gaz ou liquide
- = mouvements des fluides dus aux variations de température
- Fonction de la vitesse de l'air



jfcabaraux@uliege.be

Pertes/gains de chaleur

2. Convection

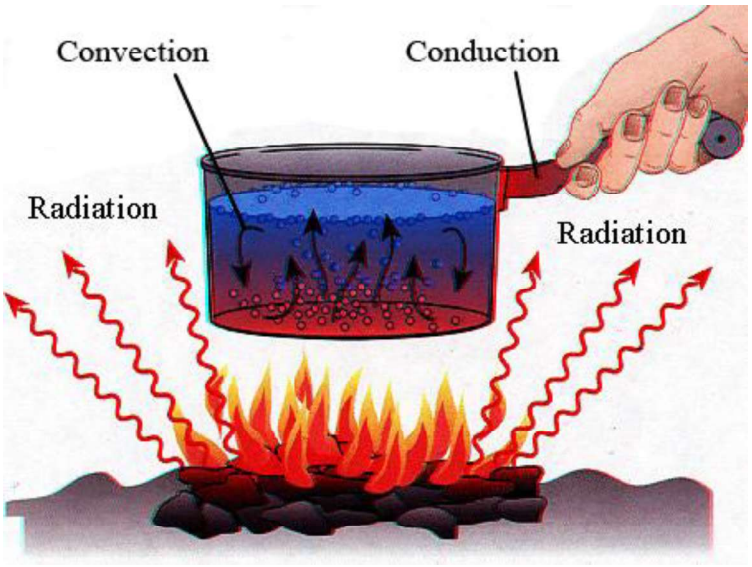


jfcabaraux@uliege.be

Pertes/gains de chaleur

3. Conduction

– Pas de déplacement de matière



jfcabaraux@uliege.be

Pertes/gains de chaleur

3. Conduction

- Échange animal avec le sol
  1. Nature du sol
     - Coefficient de conductibilité thermique (λ)



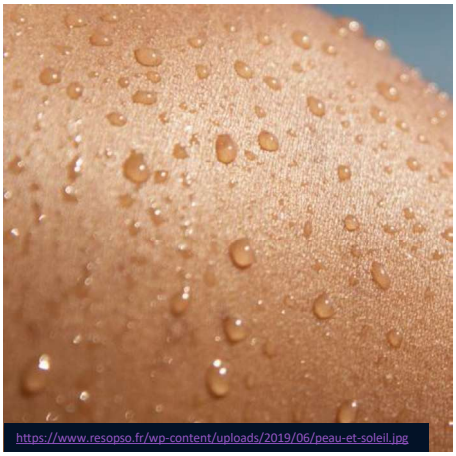


jfcabaraux@uliege.be

Pertes de chaleur

4. Chaleur latente

- Évaporation d'eau
  - Peau et arbre respiratoire
  - 1 g eau ➔ 2428 J ou 580 cal = chaleur latente de vaporisation



https://www.resopso.fr/wp-content/uploads/2019/06/peau-et-soleil.jpg

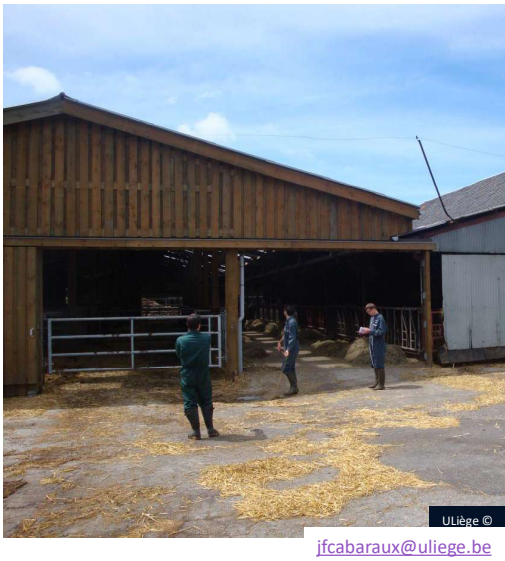
jfcabaraux@uliege.be

Pertes de chaleur

4. Chaleur latente

- Évaporation d'eau
  - Ambiance chaude: courant d'air OK
  - Ambiance froide: courant d'air KO
  - Tonte des animaux en hiver
  - Plus agréable si chaud et sec: pertes plus importantes





jfcabaraux@uliege.be

Pertes de chaleur

4. Chaleur latente

- Évaporation d'eau
  - Perspiration: passif ➔ peau et muqueuse respiratoire
    - Faible quantité d'eau qui diffuse en permanence à travers l'épiderme
    - Pertes faibles (6-12 g/ m^2 h)

jfcabaraux@uliege.be

Pertes de chaleur

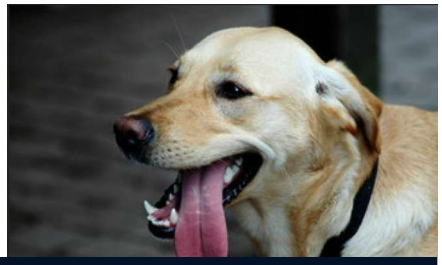
4. Chaleur latente

- Évaporation d'eau
  - Perspiration: passif ➔ peau et muqueuse respiratoire
  - Transpiration: actif ➔ glandes sudoripares
    - Porc ➔ ne sue pas: 24-36 g / m² . h
    - Bovin ➔ nombreuses glandes sudoripares: 550 – 600 g / m² . h
    - Mouton ➔ toison ➔ limitation évaporation: 50 g / m² . h
    - Cheval et homme ➔ 2,3 kg / m² . h
    - Chien, chat, lapin, souris ➔ ne transpirent pas

jfcabaraux@uliege.be

Pertes de chaleur

4. Chaleur latente
   - Évaporation d'eau
     - Perspiration: passif ➔ peau et muqueuse respiratoire
     - Transpiration: actif ➔ glandes sudoripares
     - Halètement (polypnée thermique)
       - Respiration de fréquence élevée et amplitude réduite
       - Bouche ouverte, inspiration par le nez, expiration par la bouche
       - Augmentation de la sécrétion salivaire



https://blog.croq.fr/wp-content/uploads/2015/07/Screen-Shot-2015-07-19-at-18.39.33.png

jfcabaraux@uliege.be

Pertes de chaleur

4. Chaleur latente
   - Évaporation d'eau
     - Perspiration: passif ➔ peau et muqueuse respiratoire
     - Transpiration: actif ➔ glandes sudoripares
     - Halètement (polypnée thermique)
     - douche – brumisation





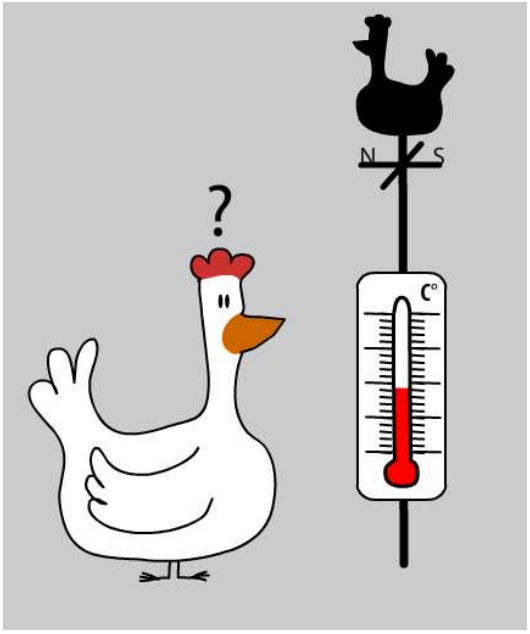
jfcabaraux@uliege.be

Bioclimatologie

jfcabaraux@uliege.be

Bioclimatologie

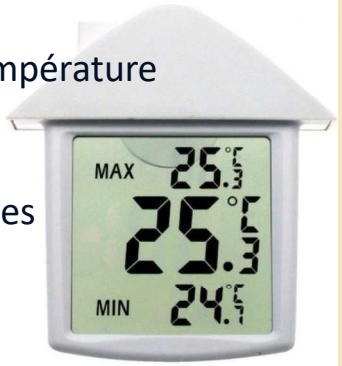
- Climat = ensemble des caractéristiques physiques de l'atmosphère
- Bioclimatologie = étude de l'influence du climat sur les êtres vivants
  - Température
  - Humidité relative
  - Vitesse de l'air



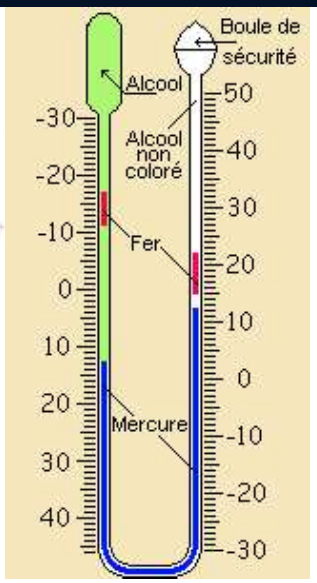
jfcabaraux@uliege.be

Température

- Animaux sensibles à - la température
  - les variations de la température
- mesures: -1x/jour pendant 1 semaines
  - températures intérieures et extérieures



http://mpicartier.free.fr/ancien_site/temperature/temperature_plus/th_max.gif



Capacité de réchauffement du bâtiment

$t_i - t_e$

$$t = \frac{t_{min} + t_{max}}{2}$$

Capacité d'amortissement des fluctuations de t° extérieure

$\frac{A_i}{A_e}$

Amplitude intérieure: $A_i = t_{max\ i} - t_{min\ i}$

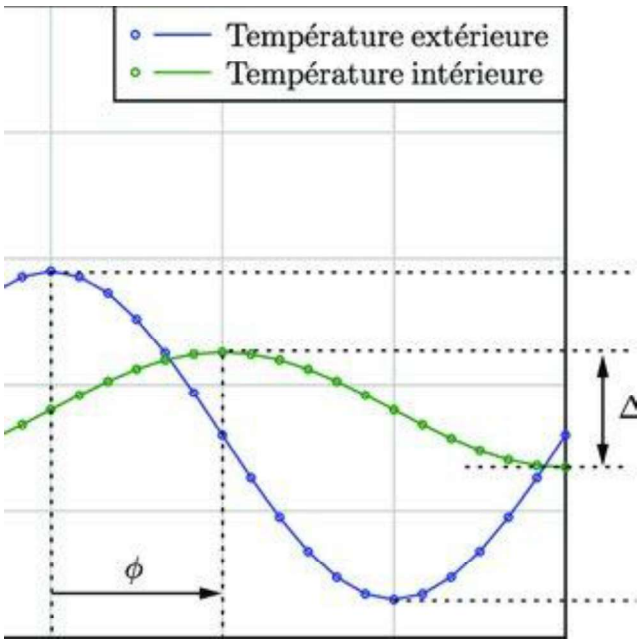
Amplitude extérieure: $A_e = t_{max\ e} - t_{min\ e}$

≤0,5 (étables)

≤0,3 (porcheries)

jfcabaraux@uliege.be

Température



jfcabaraux@uliege.be

Humidité relative

Hygromètre

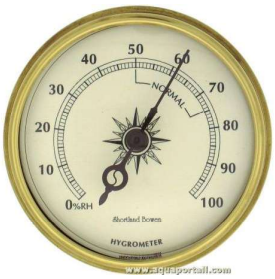
Quantité de vapeur d'eau présente dans l'air à une température et une pression données (g/m³)

Rapport (%)

$$\text{Humidité relative (HR)} = \frac{\text{Humidité Absolue (HA)}}{\text{Humidité absolue à saturation } (HA_S)}$$

Quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir à ces mêmes température et pression (g/m³)





jfcabaraux@uliege.be

Humidité relative

8,65 g/m³

$$\text{Humidité relative (HR)} = \frac{\text{Humidité Absolue (HA)}}{\text{Humidité absolue à saturation } (HA_S)}$$

? g/m³

20°C

jfcabaraux@uliege.be

Humidité relative

Température °C	Tension maxima de vapeur (mbar)	Humidité absolue à saturation (g/m^3)	Température °C	Tension maxima de vapeur (mbar)	Humidité absolue à saturation (g/m^3)
-15	1,91	1,39	11	13,12	10,02
-14	2,08	1,51	12	14,02	10,67
-13	2,25	1,66	13	14,97	11,35
-12	2,44	1,80	14	15,98	12,07
-11	2,65	1,97	15	17,04	12,83
-10	2,86	2,14	16	18,17	13,63
-9	3,10	2,34	17	19,37	14,48
-8	3,35	2,54	18	20,63	15,37
-7	3,62	2,75	19	21,96	16,31
-6	3,90	2,99	20	23,37	17,30
-5	4,21	3,25	21	24,86	18,34
-4	4,55	3,51	22	26,43	19,43
-3	4,90	3,83	23	28,09	20,58
-2	5,28	4,13	24	29,83	21,78
-1	5,68	4,49	25	31,67	23,05
0	6,11	4,85	26	33,61	24,38
1	6,57	5,20	27	35,65	25,77
2	7,05	5,56	28	37,80	27,23
3	7,58	5,96	29	40,06	28,77
4	8,13	6,36	30	42,43	30,37
5	8,72	6,80	31	44,93	32,05
6	9,35	7,27	32	47,55	33,81
7	10,01	7,75	33	50,31	35,65
8	10,72	8,27	34	53,20	37,58
9	11,47	8,82	35	56,24	39,60
10	12,27	9,46	36	59,42	41,70

jfcabaraux@uliege.be

Humidité relative

Objectif dans bâtiment d'élevage
HR<80%

$$\text{Humidité relative (HR)} = \frac{\text{Humidité Absolue (HA)}}{\text{Humidité absolue à saturation } (HA_S)}$$

50 %

8,65 g/m³

17,3 g/m³

20°C

jfcabaraux@uliege.be

Humidité relative

Température °C	Tension maxima de vapeur (mbar)	Humidité absolue à saturation (g/m^3)	Température °C	Tension maxima de vapeur (mbar)	Humidité absolue à saturation (g/m^3)
-15	1,91	1,39	11	13,12	10,02
-14	2,08	1,51	12	14,02	10,67
-13	2,25	1,66	13	14,97	11,35
-12	2,44	1,80	14	15,98	12,07
-11	2,65	1,97	15	17,04	12,83
-10	2,86	2,14	16	18,17	13,63
-9	3,10	2,34	17	19,37	14,48
-8	3,35	2,54	18	20,63	15,37
-7	3,62	2,75	19	21,96	16,31
-6	3,90	2,99	20	23,37	17,30
-5	4,21	3,25	21	24,86	18,34
-4	4,55	3,51	22	[illegible]	19,43
-3	4,90	3,83	23	[illegible]	20,58
-2	5,28	4,13	24	29,83	21,78
-1	5,68	4,49	25	31,67	23,05
0	6,11	4,85	26	33,61	24,38
1	6,57	5,20	27	35,65	25,77
2	7,05	5,56	28	37,80	27,23
3	7,58	5,96	29	40,06	28,77
4	8,13	6,36	30	42,43	30,37
5	8,72	6,80	31	44,93	32,05
6	9,35	7,27	32	47,55	33,81
7	10,01	7,75	33	50,31	35,65
8	10,72	8,27	34	53,20	37,58
9	11,47	8,82	35	56,24	39,60
10	12,27	9,46	36	59,42	41,70

jfcabaraux@uliege.be

Humidité relative

37,5 %

50 %

8,65 g/m³

Objectif dans bâtiment d'élevage
HR<80%

$$\text{Humidité relative (HR)} = \frac{\text{Humidité Absolue (HA)}}{\text{Humidité absolue à saturation } (HA_S)}$$

17,3 g/m³

23,05 g/m³

20°C

25°C

jfcabaraux@uliege.be

Vitesse de l'air

- Anémomètres ➔ vitesse du vent
  - A fil chaud OK
  - À coupelles: trop imprécis





- Cartouche fumigène:
  - ➔ courants d'air
  - ➔ mouvement de l'air



jfcabaraux@uliege.be

Heat stress

jfcabaraux@uliege.be

Heat stress

- THI
  - Index Température-Humidité
  - THI = 0,8 x T + HR x (T-14,4) + 46,4 (Mader et al., 2006)
    - T: température (°C)
    - HR: humidité relative (%)

jfcabaraux@uliege.be

Heat stress

- THI

Humidité relative (%)

Température °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
22.0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72	72
23.0	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73
23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
24.0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76
25.0	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
25.5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
26.0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	79
26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	79	80
27.0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80	80	81
28.0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82
28.5	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82	83
29.0	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83	83	84
29.5	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85
30.0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
30.5	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85	86	87
31.0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	8	86	87	88
31.5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89
32.0	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90
33.0	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90	91
33.5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88	89	90	91	92
34.0	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	85	86	87	88	89	90	91	92	93
34.5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	86	87	88	89	90	91	92	93	94
35.0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
35.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
36.0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95	96	97
36.5	76	77	78	80	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	98
37.0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	98	99
38.0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98	99	100
38.5	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99	100	101
39.0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100	101	102
39.5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101	102	103
40.0	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	103	104
40.5	79	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100	101	102	103	105
41.0	80	81	82	84	85	87	88	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103	104	106
41.5	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	98	99	100	102	103	104	106	107
42.0	81	82	83	85	86	88	89	90	92	93	94	96	97	98	100	101	103	104	105	107	108
43.0	81	82	84	85	87	89	89	91	92	94	95	96	98	99	101	102	103	105	106	108	109
43.5	81	83	84	86	87	89	90	91	93	94	96	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110
44.0	82	83	85	86	88	90	91	92	94	95	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111
44.5	82	84	85	87	88	90	91	93	94	96	97	99	100	102	103	105	106	108	109	111	112
45.0	83	84	86	87	89	91	92	93	95	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111	113
45.5	83	85	86	88	89	92	92	94	96	97	99	100	102	103	105	106	108	109	111	112	114
46.0	84	85	87	88	90	92	93	95	96	98	99	101	102	104	106	107	109	110	112	113	115
46.5	84	86	87	89	90	93	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	114	116
47.0	85	86	88	89	91	93	94	96	98	99	101	102	104	106	107	109	111	112	114	115	117
48.0	85	87	88	90	92	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	115	116	118
48.5	85	87	89	90	92	94	96	87	99	101	102	104	106	107	109	111	112	114	116	117	119
49.0	86	88	89	91	93	95	96	98	100	101	103	105	106	108	110	111	113	115	117	118	120

jfcabaraux@uliege.be

Heat stress

- THI

Humidité relative (%)

Température

°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
220	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72	72
230	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73
235	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
240	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
245	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76
250	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
255	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
260	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	79
265	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	79	80
270	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80	80	81
280	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82
285	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82	83
290	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83	83	84
295	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85
300	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
305	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85	86	87
310	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	8	86	87	88
315	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	
320	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
330	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	
335	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	
340	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	
345	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
350	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
355	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
360	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95	96	97
365	76	77	78	80	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	98
370	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	98	99
380	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98	99	100
385	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99	100	101
390	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100	101	102
395	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101	102	103
400	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	103	104
405	79	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100	101	102	103	105
410	80	81	82	84	85	87	88	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103	104	106
415	80	81	83	84	86	87	88	90	91	92	94	95	96	98	99	100	102	103	104	106	107
420	81	82	83	85	86	88	89	90	92	93	94	96	97	98	100	101	103	104	105	107	108
435	81	83	84	86	87	89	90	91	93	94	96	97	99	100	101	103	104	106	107	109	110
440	82	83	85	86	88	90	91	92	94	95	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111
445	82	84	85	87	89	90	91	93	94	96	97	99	100	102	103	105	106	108	109	111	112
450	83	84	86	87	89	91	92	93	95	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111	113
455	83	85	86	88	89	92	92	94	96	97	99	100	102	103	105	106	108	109	111	112	114
460	84	85	87	88	90	92	93	95	96	98	99	101	102	104	106	107	109	110	112	113	115
465	84	86	87	89	90	93	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	114	116
470	85	86	88	89	91	93	94	96	98	99	101	102	104	106	107	109	111	112	114	115	117
480	85	87	88	90	92	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	115	116	118
485	86	87	89	90	92	94	96	97	99	101	102	104	106	107	109	111	112	114	116	117	119
490	86	88	89	91	93	95	96	98	100	101	103	105	106	108	110	111	113	115	117	118	120

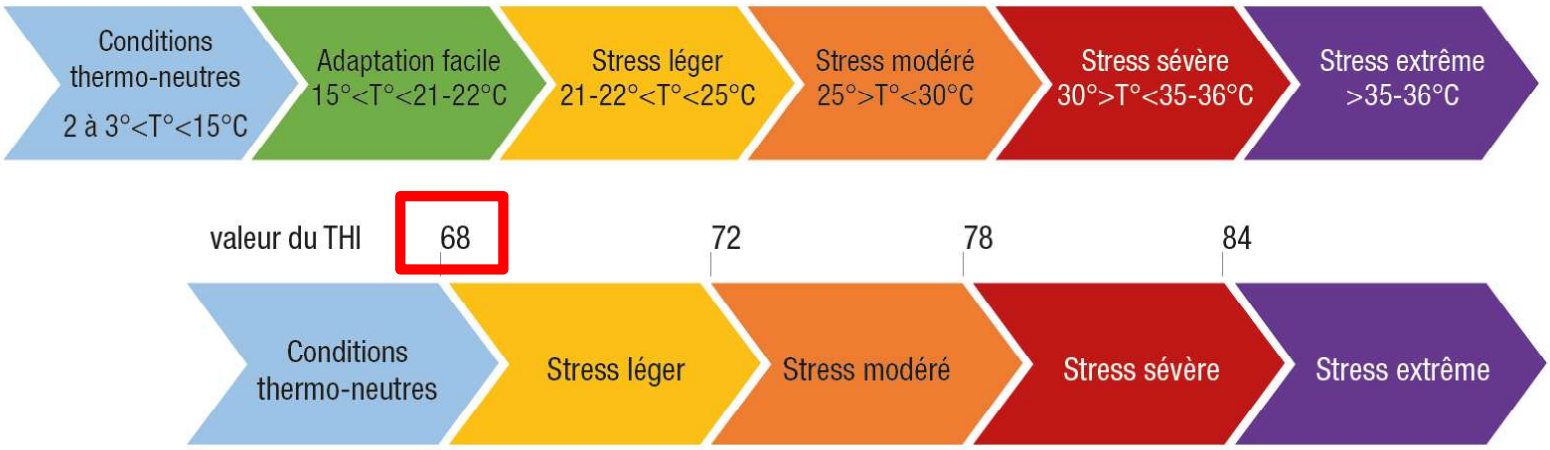
- THI < 68 : aucun stress thermique
- **THI entre 68 et 71** : seuil à partir duquel on observe les premiers signes de stress thermique : la fréquence respiratoire passe à 60 inspirations par minute, la température rectale dépasse les 38,5°C, la production laitière et les performances de reproduction commencent à être impactées
- **THI entre 72 et 79** : stress thermique léger à modéré : la fréquence respiratoire dépasse les 75 inspirations par minute, la température rectale dépasse les 39°C
- **THI entre 80 et 89** : stress thermique modéré à sévère : la fréquence respiratoire dépasse les 85 inspirations par minute, la température rectale dépasse les 40°C
- **THI entre 90 et 98** : stress thermique sévère : la fréquence respiratoire atteint 120 à 140 inspirations par minute, la température rectale dépasse les 41°C
- THI supérieur à 99 : risque de mort

Source : Collier et al. (2012)

jfcabaraux@uliege.be

Heat stress

- THI



à 30 % Humidité relative ->	24°C	27°C	33°C	38°C
à 50 % Humidité relative ->	22°C	25°C	30°C	34,5°C
à 70 % Humidité relative ->	21°C	24°C	28°C	32°C
à 90 % Humidité relative ->	20,5°C	22,5°C	26°C	30°C

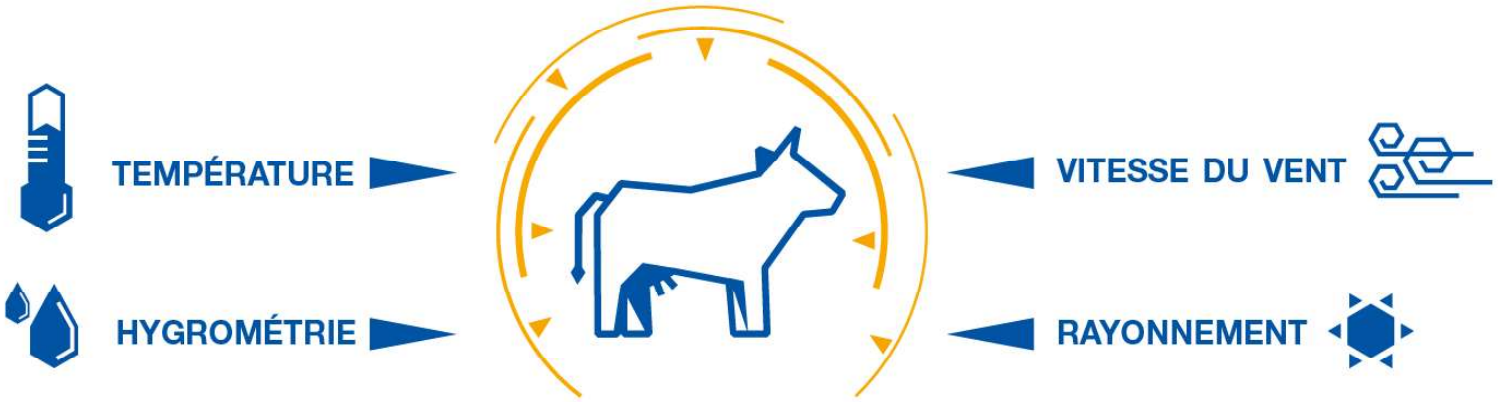
jfcabaraux@uliege.be



Leviers

jfcabaraux@uliege.be

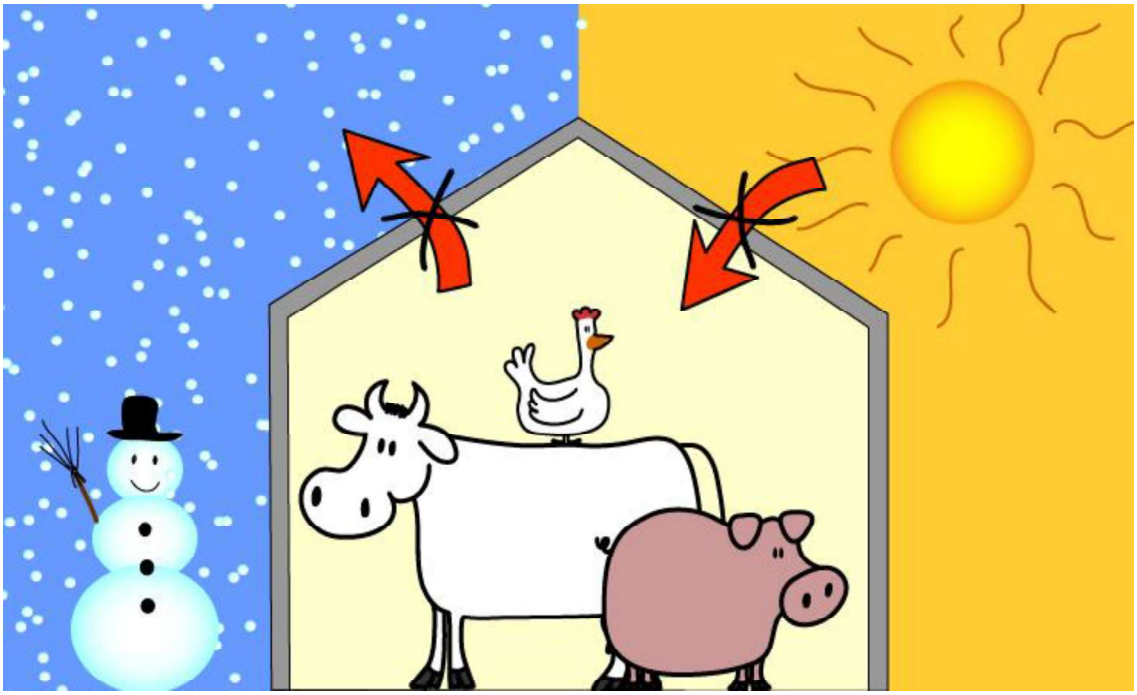
Leviers



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Isolation



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Isolation
    - Principaux types de matériaux isolants
      - Laines minérales (de roches ou de verre)
      - Panneaux synthétiques
        - Polystyrène expansé (EPS) = frigolite
        - Polystyrène extrudé (XPS)
        - Polyuréthane (PUR)
    - Mousse PUR projetée



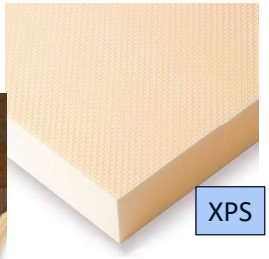
Laine de roche



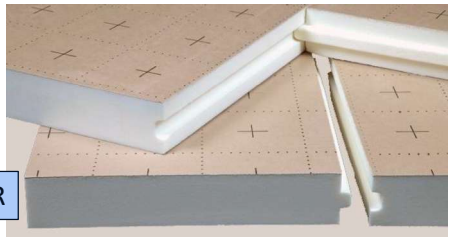
Laine de verre



EPS



XPS



PUR



LIÈGE université
Médecine Vétérinaire

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Isolation
    - Matériaux biosourcés
      - Laine de bois
      - Laine de mouton
      - …



Laine de bois



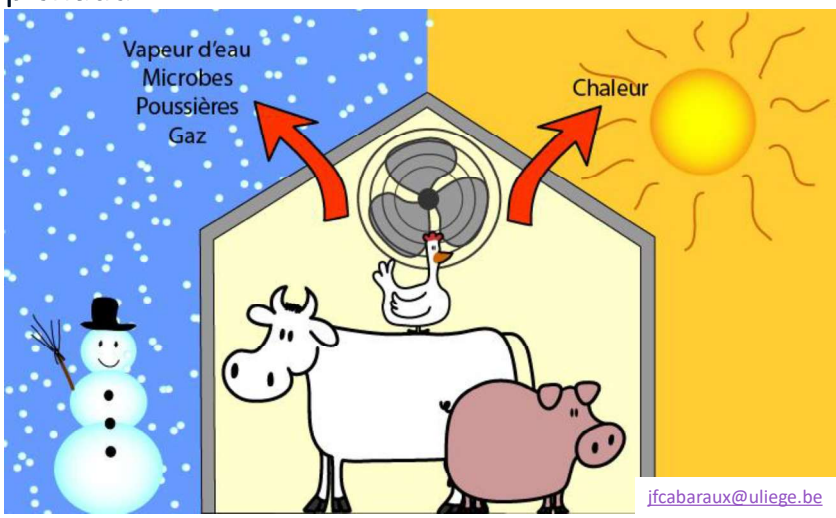
Laine de mouton

Isolation contre le froid >< isolation contre le chaud

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilation
    - Objectif ventilation = bonnes conditions de température, humidité relative et pureté de l'air
      - En hiver: éviter que l'air ne soit trop pollué
      - En été: éviter qu'il ne fasse trop chaud



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilation
    - Débit

Ruminants, porcs et chevaux

Vache de 700 kg
➔ 140 m^3 h^{-1} en hiver
➔ 700 m^3 h^{-1} en été

En été

1 à 1,5 m^3 kg^{-1} h^{-1} ➔ 7 à 8 m^3 kg^{-1} h^{-1} (volaille)

Jusqu'à 20 à 30 renouvellements d'air par heure

Volume des bâtiments = 5 m^3 / 100 kg PV

Vache de 700 kg ➔ 35 m^3

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilation naturelle
    - Effet cheminée ou effet montgolfière
      - L'air chaud et humide est plus léger que l'air froid et sec



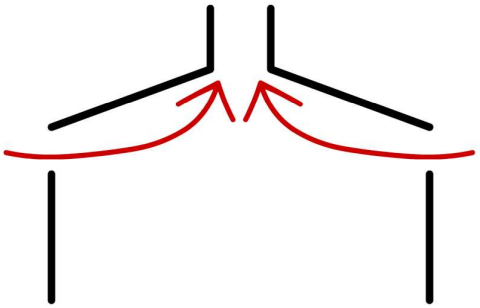
↗T° ➔ ↗ Vol ➔ ↘densité

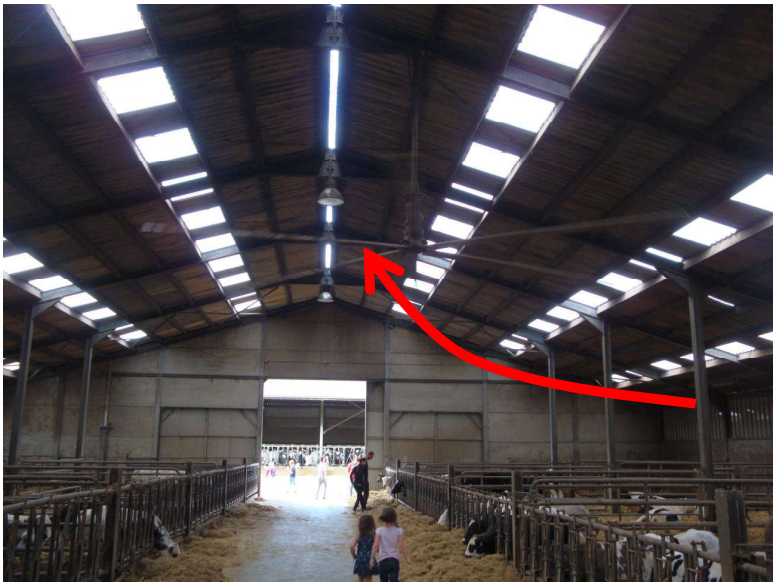
Poids air sec ~ 29 g/mol
Poids eau ~ 18 g/mol

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilation naturelle
    - Effet cheminée ou effet montgolfière





Entrées d'air : murs longitudinaux
Sorties d'air: ouvertures sous faîtage (cheminée ou faîte ouvert)

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilation naturelle
    - Effet cheminée ou effet montgolfière

Débit de ventilation

Hauteur de tirage

ΔT

$$D\ (m^3/s) = 0{,}6 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot \Delta t}{T_e}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}} = 2{,}66 \cdot \sqrt{\frac{h \cdot \Delta t}{T_e}} \cdot \frac{A_1 \cdot A_2}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}}$$

Température externe

Entrées et sorties d'air

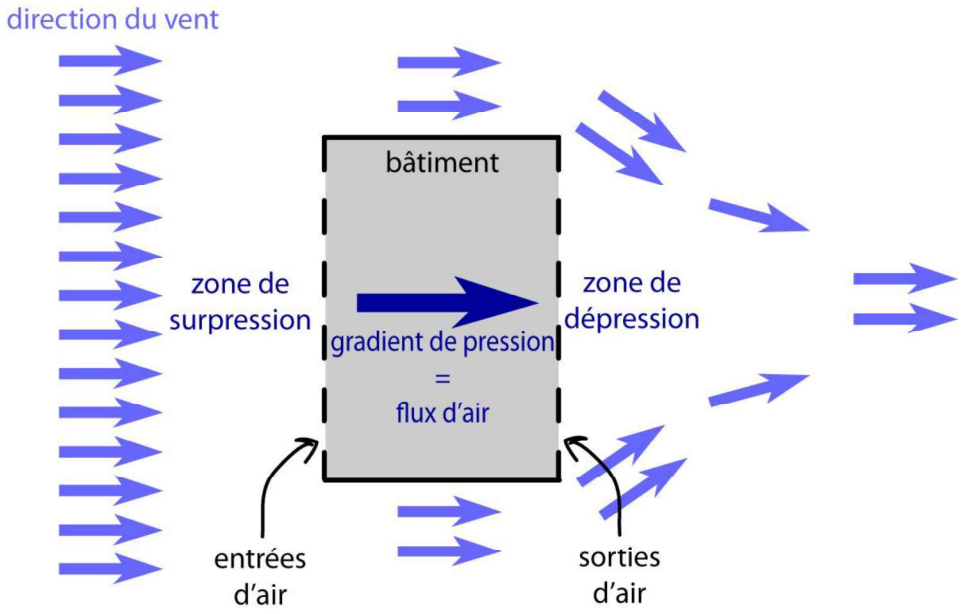
Débit = surface (m^2) X vitesse (m/s)
→ unité = m^3/s

0,6 = coefficient de perte de charge
g = accélération de la force pesanteur = 9,81 m/s^2
h = différence de hauteur entre l'entrée et la sortie d'air (m)
Δt = écart entre températures intérieure et extérieure (°K ou °C)
T_e = température extérieure (°K)
A_1 = surface totale des entrées d'air (m^2)
A_2 = surface totale des sorties d'air (m^2)

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

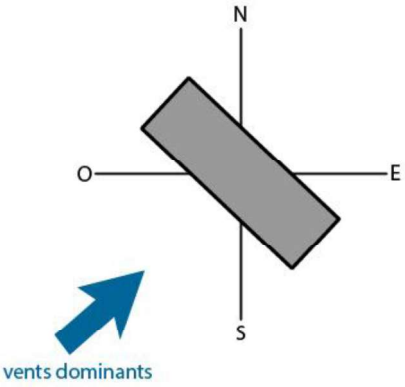
- Bâtiments
  - Ventilation naturelle
    - Effet cheminée ou effet montgolfière
    - Action du vent

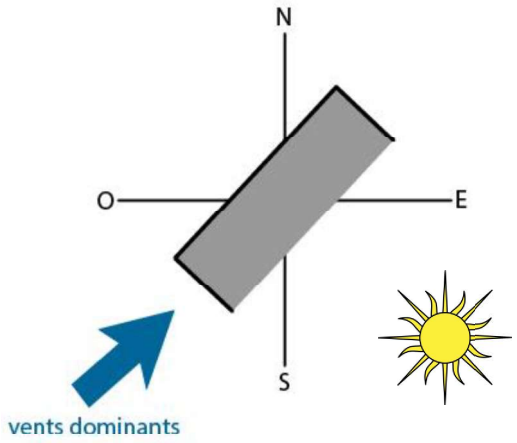


jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilation naturelle
    - Effet cheminée ou effet montgolfière
    - Action du vent ➔ orientation du bâtiment





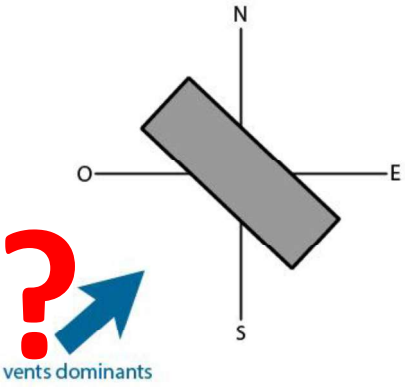
Bâtiment fermé
- Un long pan à l'ouest ou au sud-ouest
- Ne pas exposer les pignons aux vents dominants

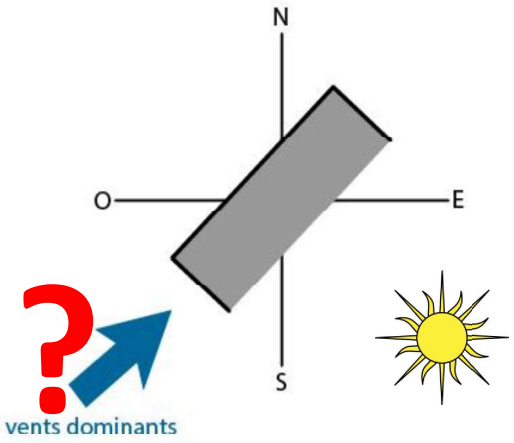
Bâtiment ouvert
- Ouverture orientée en sud-est
- Prévoir sorties d'air - à l'arrière
  - en faîtière si bi-pente

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilation naturelle
    - Effet cheminée ou effet montgolfière
    - Action du vent ➔ orientation du bâtiment





Bâtiment fermé
- Un long pan à l'ouest ou au sud-ouest
- Ne pas exposer les pignons aux vents dominants

Bâtiment ouvert
- Ouverture orientée en sud-est
- Prévoir sorties d'air - à l'arrière
  - en faîtière si bi-pente

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilation naturelle
    - Effet cheminée ou effet montgolfière
    - Action du vent

Action combinée

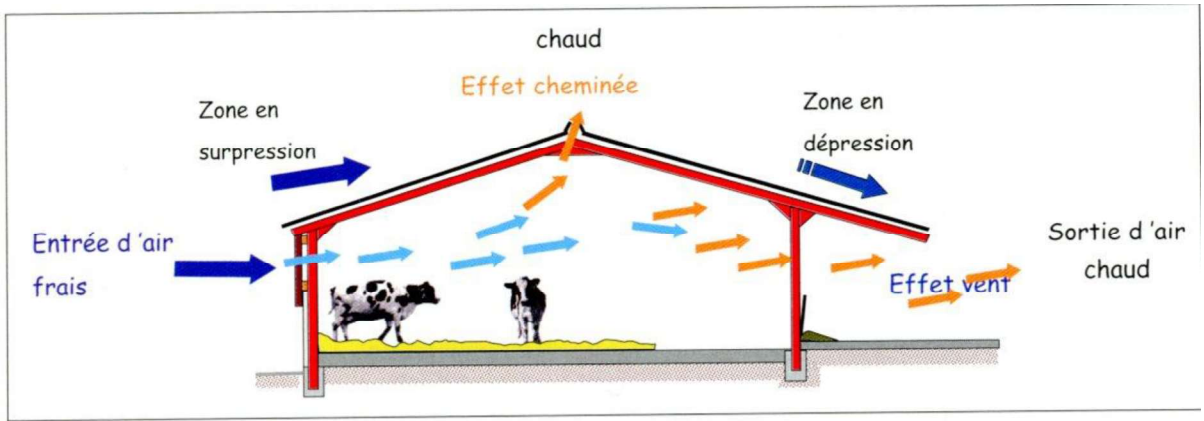


Figure 1-11 *Principes de ventilation. « Effet cheminée » et « effet vent ».*



jlcadaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Augmenter l'entrée d'air

Démontage de bardage	Panneaux articulés	Bardage ajouré coulissant
		

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Augmenter l'entrée d'air



Photo 11
volets en partie basse, isolation d'une toiture basse et peinture d'ombrage type serre appliquée en dessous des translucides
(Crédit photo : Rhône Conseil Elevage)



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Courants d’air



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilateurs verticaux

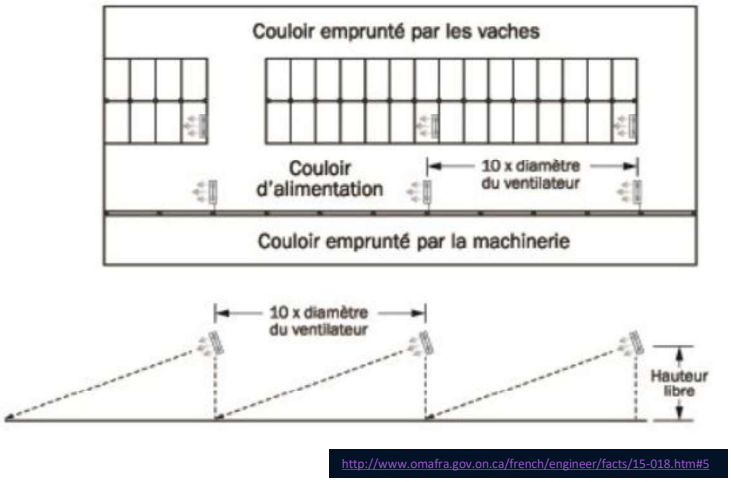


jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilateurs verticaux





http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/15-018.htm#5

Faible volume et vitesse élevée
Diamètre: 60 à 120 cm
Distance: 10 m
Vitesse air: 1 à 2,5 m/s
Volume d'air: 15 à 30 m^3/min par vache

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilateurs horizontaux





Faible vitesse et volume élevé (50 tours/min)
Diamètre: 6 à 7,5 m
Distance: 15 à 18 m
Déplacement: 5 000 à 10 000 m³ air / min

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilateur et Brumisation haute pression



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

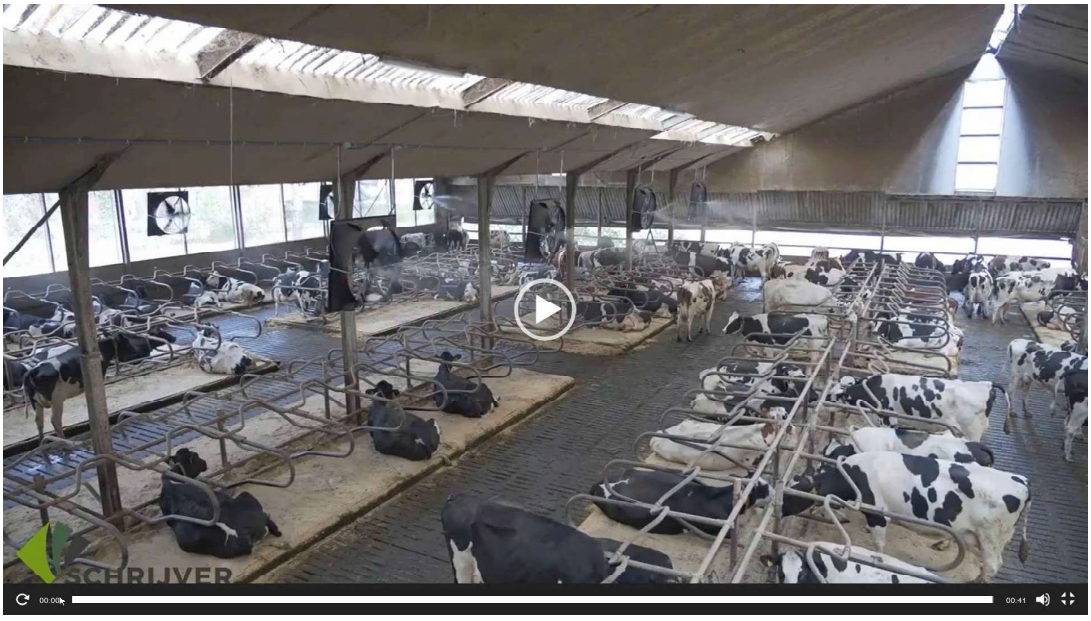
- Bâtiments
  - Ventilateur et Brumisation haute pression



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

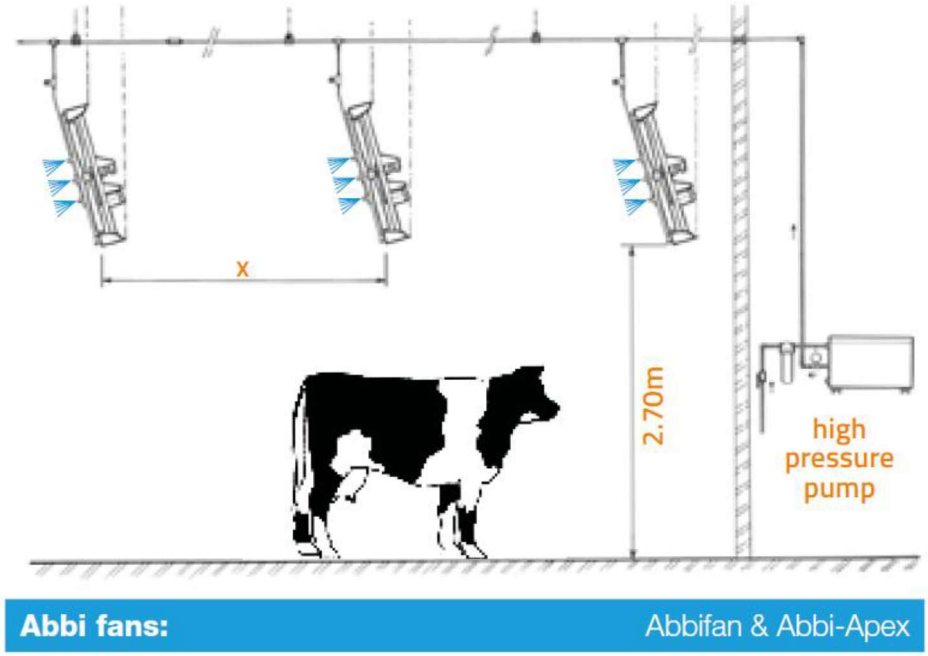
- Bâtiments
  - Ventilateur et Brumisation haute pression



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilateur et Brumisation haute pression



- 3 à 5 °C

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilateur et Brumisation haute pression
    - Brumisation
      - Min: 30 sec
      - Max: 2 min
      - 20 sec entre 2 brumisations
      - T° de début
      - % ventilateur
      - Max 80% HR
    - Processus adiabatique
      - Chaleur pour évaporation eau
      - Augmente HR
      - ➔ ventilation



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Ventilateur et Brumisation haute pression



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Douche



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

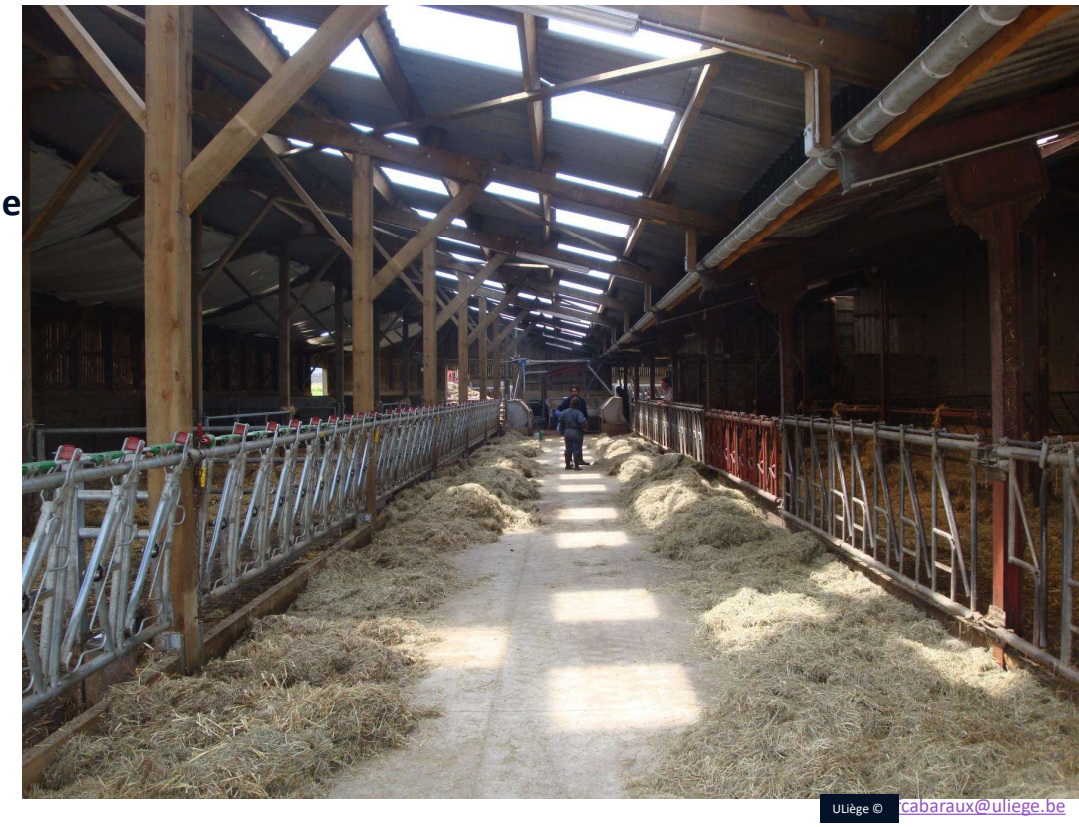
- Bâtiments
  - Toit
    - Transparent
      - Surface d'entrée de lumière ➔ 1/15 à 1/10 de la superficie au sol
      - Luminosité
        - Plein soleil = 100 000 lux
        - Pleine lune = 0,2 lux
        - Bureaux : 500 lux
        - Bâtiments d'élevage : 25-40 lux min



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Toit
    - Transparent
      - Surface d’entrée
      - Luminosité
      - Confort



ULiège ©

cabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Toit
    - Transparent





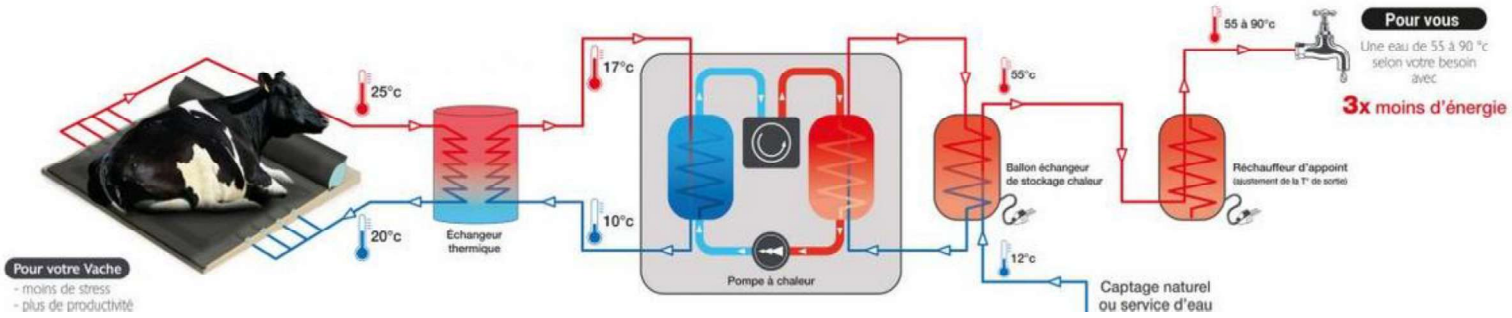
jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Logettes
    - Matelas refroidi avec récupération de chaleur

      Efficacité...





jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Bâtiments
  - Logettes
    - Matériau
      - Températures plus basses dans le calcaire (25,9°C) et le sable (26,9°C), par rapport aux copeaux de bois (28,6°C), à 25 mm en dessous de la surface (Cummins, 1998).



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Ombre



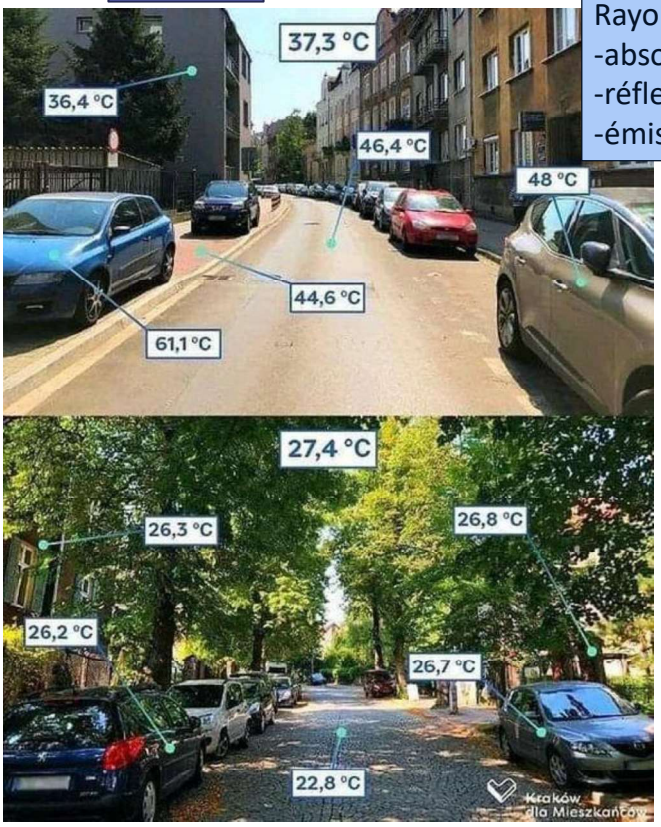
jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Ombre



Forêt urbaine



Transpiration des végétaux
Rayonnement diminue
-absorption
-réflexion
-émission

jfcabaraux@uliege.be

Leviers



https://carlsbourg.be/fermes

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

Abri

- Ombre
  - Conseil wallon du bien-être animal: Avis relatif à la protection des animaux en prairie (14 juin 2017):
    - « Tout animal détenu en prairie dispose d'un abri naturel ou artificiel. À défaut, il peut être rentré dans un bâtiment adéquat en cas d'intempéries et/ou d'ensoleillement excessifs portant atteinte au bien-être animal »
    - Abri: Éléments naturels (haies, arbres isolés) ou installations couvertes permettant aux animaux de se préserver du vent, du soleil ou de la pluie.

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

Abri

- Ombre
  - Quand ombre:
    - Fréquence respiratoire plus faible (51 vs 62 /min)
    - Moins de temps au point d'eau (2-3 x)
    - Agressivité et manque hygiène quand surface insuffisante
  - Stress de chaleur ↘ production laitière



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

Abri

- Ombre

Intempéries: vent - pluie



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Ombre



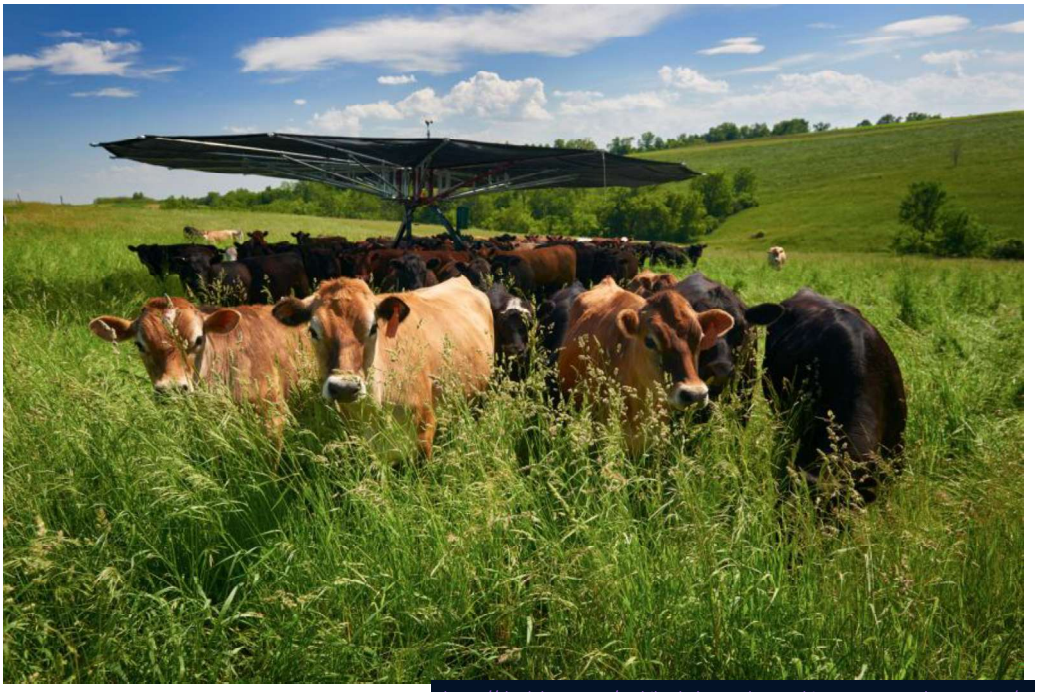
Alimentation

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Ombre

Abri mobile



https://shadehaven.net/mobile-shelter-makes-cool-investment-cattle-operation/

jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Eau – alimentation

Recommandations pour un accès à l'eau suffisant

Longueur d'abreuvoir par vache	6 cm minimum optimum 10 cm l'été
Distance maximale entre deux abreuvoirs	20 m
Débit d'eau	15 à 20 L/mn **10 L / min**
Hauteur d'eau minimale dans l'abreuvoir	> 7 cm
Hauteur des abreuvoirs	0,70 à 0,75 m
Espace latéral	≥ 3,60 m

Photo 1 :
Un grand bac ajouté en période chaude (Photo Idele)



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Eau – alimentation
  - Diminution ingestion fibre – tri
  - Attention silo qui chauffe
  - Distribution tôt le matin et tard le soir
  - Protéger l'auge des rayons du soleil



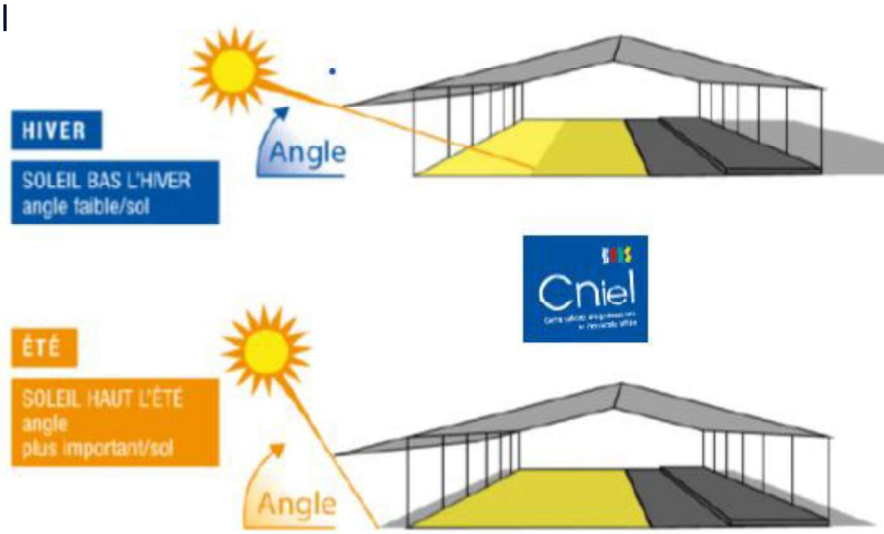
Une auge maintenue à l'ombre grâce à la gestion de l'ouverture du rideau en période chaude
(Photo Idele)



jfcabaraux@uliege.be

Leviers

- Eau – alimentation
  - Diminution ingestion fibre – tri
  - Attention silo qui chauffe
  - Distribution tôt le matin et tard le soir
  - Protéger l'auge des rayons du soleil



jfcabaraux@uliege.be

LIÈGE université
Médecine Vétérinaire

Merci de votre attention