



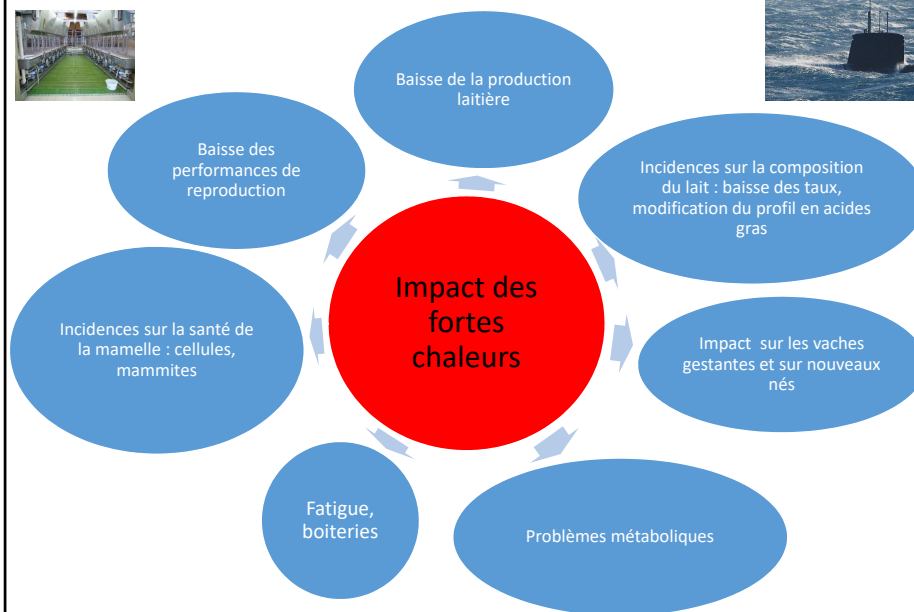
# La mesure du confort thermique au sein des bâtiments pour vaches laitières en conditions chaudes estivales

## Travaux Cniel Bâtiment d'élevage de demain

Bertrand Fagoo, service Capteurs-Equipements-Bâtiments, Institut de l'élevage



Les informations contenues dans cette étude ont été obtenues grâce à un programme financé par le CNIEL



3

## Observation des animaux : le score de halètement (vaches laitières)



Score d'halètement	0	1	2	3	4
Description	Normal sans halètement.	Halètement léger, bouche fermée sans salivation.	Halètement rapide avec salivation. Pas de halètement bouche ouverte.	Halètement bouche ouverte et hypersalivation. Cou étiré et tête souvent levée.	Bouche ouverte avec langue complètement sortie pendant de longues périodes et hypersalivation, hypersalivation souvent associée à un cou étiré vers l'avant.
Respirations par minute	<60	60-90	90-120	120-150	>150

Stress léger à modéré  
T°C > 38,5

Stress modéré à sévère  
T°C > 40

Stress sévère  
T°C > 41

Stress très sévère



## Le THI - Temperature Humidity Index (*Mader et al.*) est l'un des indicateurs synthétiques largement utilisés pour rendre compte de l'inconfort thermique supporté par des herbivores

Valeur du THI

68	72	78	84
----	----	----	----

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

**THI (temperature Humidity Index =  $0,8 \cdot TA + (RH/100) \cdot (TA - 14,4) + 46,4$ )**

4

# Une autre présentation du THI

Le THI est un indice climatique couramment utilisé pour l'avertissement de stress thermique chez les vaches laitières. Cet indice tient compte de la température ambiante et de l'humidité. Le calcul du THI se fait comme suit :   
 $THI = 0,8 * T_a + RH * 100 * T_a - 14,4 + 46,4$

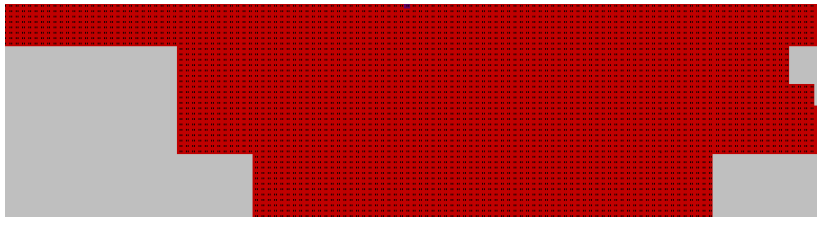
Pas de stress	<= 68		<b>T* &gt; 38,5°C</b>	<b>&gt; 60 RPM</b>
Stress léger	68 - 72			
Stress moyen	72 - 78		<b>T* &gt; 39°C</b>	<b>&gt; 75 RPM</b>
Stress élevé	78 - 84			
Stress extrême (ou très élevé)	> 84			

THI	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43																																				
20	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86																	
22,5	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86															
25	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87														
27,5	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88												
30	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89											
32,5	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89											
35	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90									
37,5	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	90	91								
40	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92							
42,5	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92							
45	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92								
47,5	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92								
50	65	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93								
52,5	65	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94							
55	65	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94							
57,5	65	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95						
60	65	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96					
62,5	65	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97					
65	65	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98				
67,5	65	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99			
70	65	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99				
72,5	65	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100			
75	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101			
77,5	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102		
80	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102		
82,5	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
85	67	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	
87,5	67	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	
90	67	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89	90	91	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105



Date \_\_\_\_\_ Titre de la présentation \_\_\_\_\_ 6

## Les mesures du THI au sein d'un bâtiment ne permettent pas de distinguer la variation du confort thermique







Valeur du THI	68	72	78	84
Conditions thermo-neutres	Stress léger	Stress modéré	Stress marqué	Stress extrême

7

## Pour mieux apprécier le confort thermique l'été au sein des bâtiments

### Utilisation du HLI : Heat Load Index (Gaughan *et al.*)

- 
 • La vitesse de l'air : absolument essentielle car elle peut abaisser le « ressenti » de plusieurs degrés
- 
 • Le rayonnement global : solaire + parois à proximité de l'animal (toiture, murs et bardages)

## Pour mieux apprécier le confort thermique l'été au sein des bâtiments



### Utilisation du HLI : Heat Load Index (Gaughan *et al.*)

A plus de 25°C de TGN, la formule de calcul du HLI est :

$$HLI = 8,62 + (0,38 \times HR) + (1,55 \times TGN) - (0,5 \times VA) + e (2,4 - VA)$$

TGN : Température du Globe Noir  
 HR : Humidité Relative  
 VA : Vitesse de l'Air

**Une augmentation de HLI de 10 correspond à une hausse de température corporelle de 0,3°C (Gaughan *et al.* 2007).**

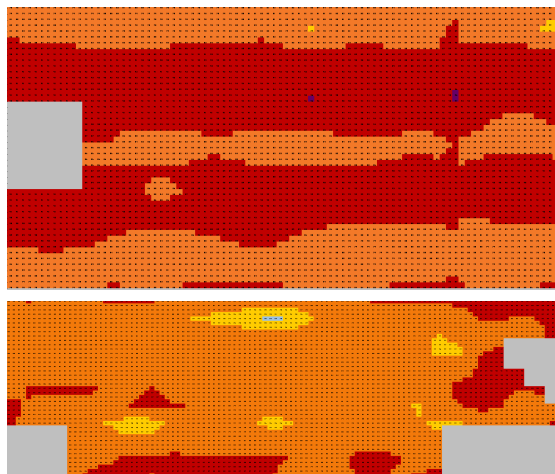



8

## Cartographie utilisant le HLI : le résultat

Codage des valeurs selon 5 niveaux de stress

HLI	
Conditions :	Seuils :
Pas de stress :	<70
Stress léger :	70-77
Stress modéré :	77-86
Stress sévère :	86-96
Stress extrême :	>96



Une visualisation de l'hétérogénéité des résultats à l'intérieur des étables  
Cartographie très pédagogique



9

## Réalisation pratique : matériel de mesure « portable »


- Thermomètre
- Thermomètre globe noir
- Hygromètre
- Anémomètre à fil chaud



Date Titre de la présentation 11

## Des conditions de mesure exigeantes !


- **Plus de 27°C**
- **Temps stable et dégagé pour mesurer l'impact du rayonnement.**
- **Les mesures doivent se faire quand le soleil est à son zénith entre 14H à 17H.**
- **Anticiper vos rendez-vous et d'être souple pour décaler si les conditions météorologiques sont changeantes.**
  - Suivi des prévisions de météo via Météociel, et de THI via les applications HappyGrass ou Thermotool.



Date Titre de la présentation 12

## De la patience pour les mesures :

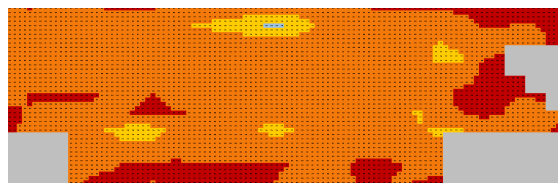
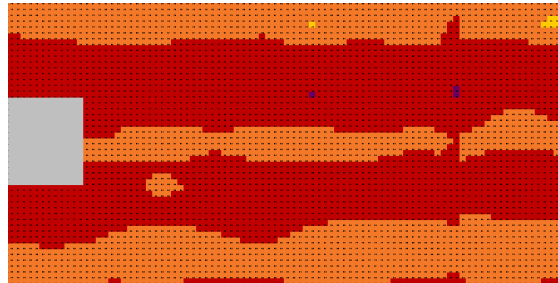
- **Vitesses d'air : anémomètre à fil chaud**
  - **A hauteur des animaux.**
  - **Eloigner le plus possible la sonde à fil chaud de votre corps et l'orienter vers le sens du vent/ventilateur**
  - **Réaliser une moyenne sur une durée d'une durée de minimum 30s**
- **Variation lente de la température du globe noir si les zones adjacentes sont très contrastées (ombre/rayonnement du soleil).**



## Calcul du HLI en chaque point et mise en forme conditionnelle : données les jour de la visite

Codage des valeurs selon 5 niveaux de stress

HLI	
Conditions :	Seuils :
Pas de stress :	<70
Stress léger :	70-77
Stress modéré :	77-86
Stress sévère :	86-96
Stress extrême :	>96

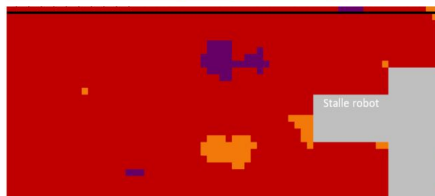


13

## Des simulations possibles



27°C et 45% HR



33°C et 55% HR

VALEURS DE L'INDICE HLI (EN °F ET EN °C) ET NIVEAU DE STRESS RESSENTI PAR LES ANIMAUX

Conditions	Seuils de l'indice HLI	
	en °F	en °C
Pas de stress	< 70 °F	< 21 °C
Stress léger	70-77 °F	21-25 °C
Stress modéré	77-86 °F	25-30 °C
Stress sévère	86-96 °F	30-35,5 °C
Stress extrême	> 96 °F	> 35,5 °C

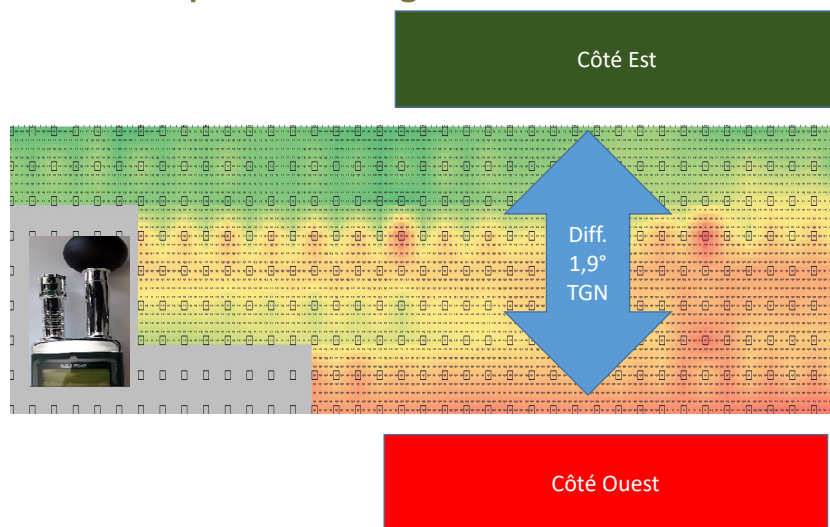




## Le temps de diagnostic permet l'observation



## La mise en évidence de l'impact du rayonnement : grâce à la température du globe noir







## Réduire le rayonnement


Différence entre la température ambiante et la température du globe noir dans les bâtiments expertisés

Moyenne	0,8°C
Maximum	1,8°C
Sous une transluce exposition sud (7m de hauteur environ)	5°C







Eviter le rayonnement direct




Limiter/Eviter les translucides en toiture





Isoler la toiture



Réduire les hauteurs des maçonneries



17

## Impact du rayonnement









## Apporter des vitesses d'air :

Dissiper la chaleur par convection  
Renouveler l'air par « effet vent »







Ouvrir davantage les bâtiments




Installer une ventilation mécanique : objectif 1m/sec






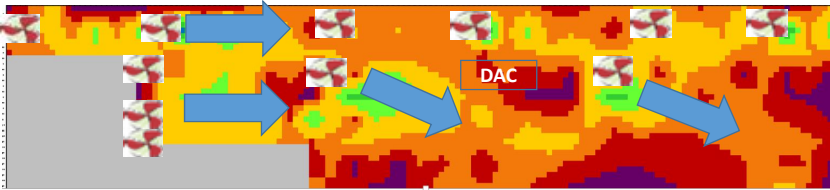


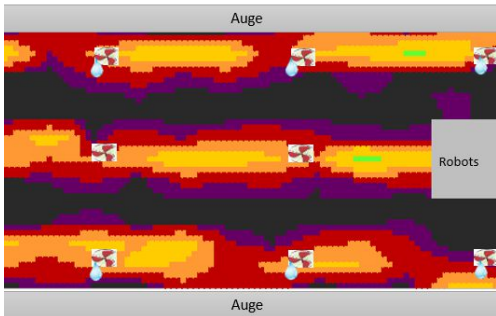


19

## Les cartographie des vitesses d'air 20


 Ventilateurs











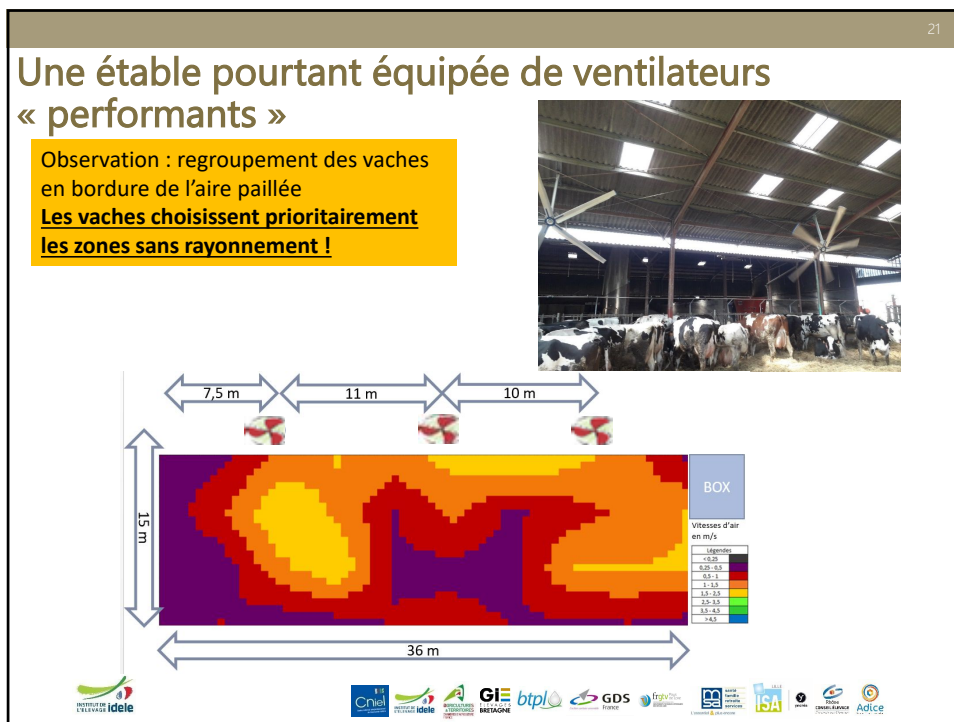


Légendes	
< 0,25	
0,25 - 0,5	
0,5 - 1	
1 - 1,5	
1,5 - 2,5	
2,5 - 3,5	
3,5 - 4,5	
> 4,5	

Moyenne des vitesses d'air au sein des bâtiments expertisés (19 bâtiments)	
Avec une ventilation mécanique	Sans ventilation mécanique
0,81 m/s (0,42 à 1,29 m/sec)	0,26 m/sec (0,17 à 0,30 m/sec)

















22

## En résumé :

- Une méthode permettant d'objectiver le confort à l'intérieur des bâtiments
  - Avec des contraintes de mise en œuvre
- Des améliorations à apporter dans l'ensemble des bâtiments visités
  - Réduction du rayonnement, amélioration de la ventilation naturelle...
  - Amélioration de la ventilation mécanique
- Nécessité d'une approche globale

INSTITUT DE L'ÉLEVAGE **idèle**

Cniel

INSTITUT DE RECHERCHE IDELE

RECHERCHE APPLIQUÉE EN ÉLEVAGE

GI BRETAGNE

btpl

GDS

frg

ISA

Adice

## Le plan d'action pour limiter l'impact des fortes chaleurs sur les animaux :

- 1 • Vérifier les conditions d'abreuvement
- 2 • Mettre à disposition des aliments appétents
- 3 • Offrir de l'ombre aux animaux en pâture
- 4 • Réduire le rayonnement direct et indirect du soleil à l'intérieur des bâtiments
- 5 • Améliorer la ventilation naturelle
- 6 • Installer une ventilation mécanique : seulement dans certaines situations et en seconde intention
- 7 • Installer la brumisation et/ou doucheage : en dernier recours et avec précaution !



23

24


## Pistes de réflexion pour les bâtiments pour petits ruminants

Bâtiments neufs	Aménagement
1. Limiter la maçonnerie et écarter les animaux des parois chaudes (et froides) : le bienfait des couloirs de service	
2. Limiter les largeurs et volumes	
3. Dégager les façades : attention à l'implantation des blocs traite et annexes en long pan	
4. Prendre en compte le rayonnement latéral (des débords de toiture côté sud)	
5. Conseiller l'isolation des toitures	4. Conseiller l'isolation des toitures
6. Optimiser la ventilation naturelle	5. Améliorer la ventilation naturelle
7. Vulgariser les ouvertures modulables pour l'été mais aussi l'hiver	Vulgariser les ouvertures modulables pour l'été mais aussi l'hiver




Date \_\_\_\_\_ Titre de la présentation \_\_\_\_\_

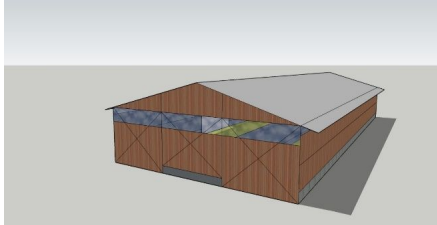
## Des réflexions sur la conception



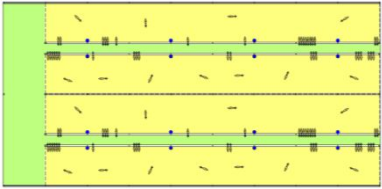
Limiter la maçonnerie




Des couloirs de service permettant d'éloigner les animaux des parois et d'aménager des ouvertures modulables plus basses



Des toitures isolées, des éclairages latéraux et en pignon, des débords de toiture



Des tapis pour limiter la largeur



26

### Des volumes à limiter

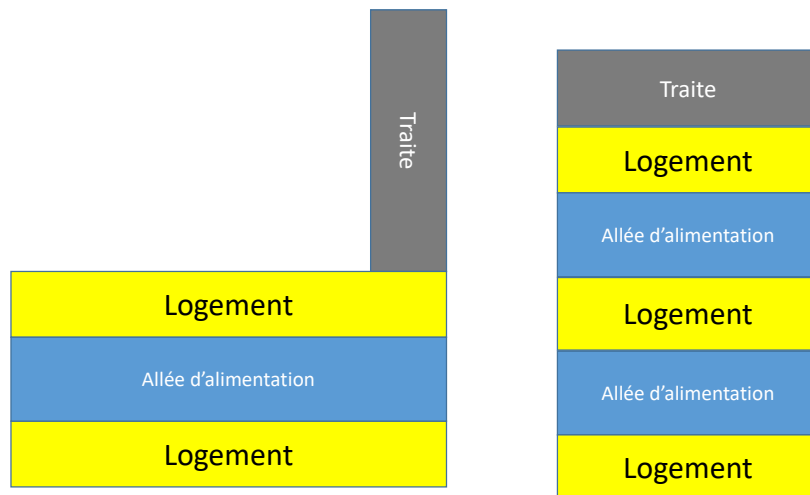


### Des alternatives pour les grandes largeurs






## Dégager les façades :



## Aménager des entrées d'air libres pour apporter des vitesses d'air sans chaleur supplémentaire l'été : une palette de solutions !

Démontages de bardage en partie basse sur les façades Nord et Est





## Une palette de solutions !

Attention à la sécurité !



Crédit Photo Btpl



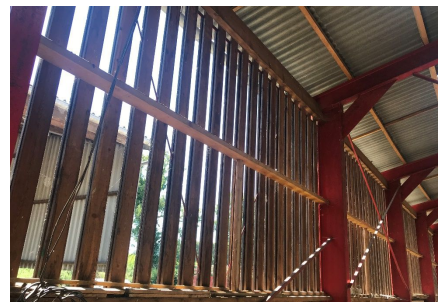
29

Date

Titre de la présentation

30

## Le double bardage coulissant






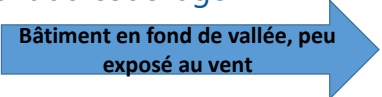



32

## La ventilation mécanique, seulement en dernier recours !




- Pour améliorer le renouvellement de l'air y compris en période intermédiaire
  - Brassage de volumes d'air, vitesses d'air non prioritaires
  - Assèchement du couchage


 Bâtiment en fond de vallée, peu exposé au vent



- Pour apporter des vitesses d'air et réduire l'impact du stress thermique
  - Vitesses d'air prioritaires
  - Rechercher plus de 1m/sec au niveau de l'animal



## La ventilation mécanique, les erreurs à éviter

- Installation dans un bâtiment très rayonnant : brassage d'air chaud
- Installation dans un bâtiment trop fermé : limitation du renouvellement de l'air, brassage d'air vicié
- Choix d'un équipement peu performant et bruyant
- Sous-équipement du bâtiment avec des zones préférentielles
- Mauvais emplacement des ventilateurs
- Mauvais réglage : inclinaison...
- Absence de vérification des vitesses d'air à la mise en route
- Absence d'entretien



Date Titre de la présentation 34

## Quid de la ventilation en extraction ?



### Quelles solutions quand la chaleur est rentrée ?

- Arrêter l'extraction
- Ouvrir les pignons voire les côtés
- Pour les grands bâtiments : des ventilateurs relais



Date Titre de la présentation 35

## Des bâtiments en tunnel de ventilation comme les poulaillers et bâtiments VL du Wisconsin ?



Des extracteurs de grande puissance en pignon



Des ventilateurs relais


De l'investissement ? De l'énergie ?  
Des bâtiments plus ouverts vers l'extérieur ou des bâtiments fermés à atmosphère contrôlée ?





Date Titre de la présentation 36

## La brumisation, une fausse bonne idée ?

- Brumiser...mais évaporer de suite !...ne pas humidifier le couchage
- Jamais dans des bâtiments fermés non ventilés mécaniquement
- Les ruminants craignent les températures élevées et l'humidité
- Attention à l'utilisation de la brumisation à des taux d'humidité élevés
- Attention à l'entretien







## Pour aller plus loin : documents de synthèse des résultats des travaux du groupe « Bâtiments d'élevage de demain »



### Résultats des travaux (20 pages)



### Plan d'action de 4 pages



### Foire aux questions



Documents disponibles sur [cniel-infos.com](http://cniel-infos.com) (Onglet Environnement > Changement climatique)

37



## Pour aller plus loin :



- Shelt-air [www.shelt-air.com](http://www.shelt-air.com)
- Guide pratique : La ventilation des bâtiments d'élevage de ruminants  
<https://acta-editions.com/shop/product/la-ventilation-des-batiments-d-elevage-de-ruminants-2071?category=27&search=la+ventilation>
- Formation annuelle au diagnostic d'ambiance :  
<http://idele.fr/services/formation>

