



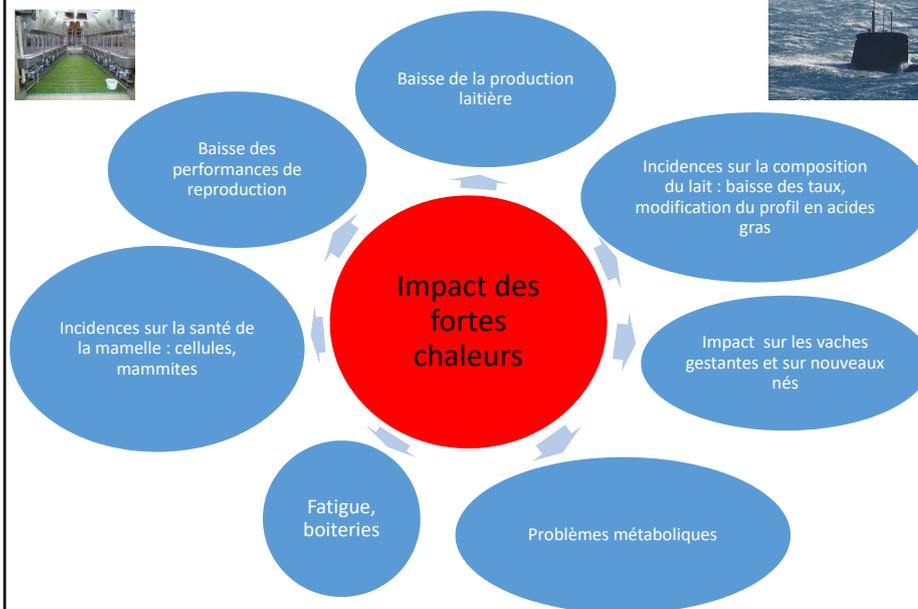
# La mesure du confort thermique au sein des bâtiments pour vaches laitières en conditions chaudes estivales

## 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\*TA + (RH/100) \* (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 :

$$THI = 0,8 * Ta + RH100 * Ta - 14,4 + 46,4$$

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

°C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
RH	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	86	87	87	88	88	89	89	90	90	91	91	92	92	93	93	94	94	95	95	96	96	97	97	98	98	99	99	100	100	101	101	102	102	103	103	104	104	105	105	106	106	107	107	108	108	109	109	110	110	111	111	112	112	113	113	114	114	115	115	116	116	117	117	118	118	119	119	120	120	121	121	122	122	123	123	124	124	125	125	126	126	127	127	128	128	129	129	130	130	131	131	132	132	133	133	134	134	135	135	136	136	137	137	138	138	139	139	140	140	141	141	142	142	143	143	144	144	145	145	146	146	147	147	148	148	149	149	150	150	151	151	152	152	153	153	154	154	155	155	156	156	157	157	158	158	159	159	160	160	161	161	162	162	163	163	164	164	165	165	166	166	167	167	168	168	169	169	170	170	171	171	172	172	173	173	174	174	175	175	176	176	177	177	178	178	179	179	180	180	181	181	182	182	183	183	184	184	185	185	186	186	187	187	188	188	189	189	190	190	191	191	192	192	193	193	194	194	195	195	196	196	197	197	198	198	199	199	200	200	201	201	202	202	203	203	204	204	205	205	206	206	207	207	208	208	209	209	210	210	211	211	212	212	213	213	214	214	215	215	216	216	217	217	218	218	219	219	220	220	221	221	222	222	223	223	224	224	225	225	226	226	227	227	228	228	229	229	230	230	231	231	232	232	233	233	234	234	235	235	236	236	237	237	238	238	239	239	240	240	241	241	242	242	243	243	244	244	245	245	246	246	247	247	248	248	249	249	250	250	251	251	252	252	253	253	254	254	255	255	256	256	257	257	258	258	259	259	260	260	261	261	262	262	263	263	264	264	265	265	266	266	267	267	268	268	269	269	270	270	271	271	272	272	273	273	274	274	275	275	276	276	277	277	278	278	279	279	280	280	281	281	282	282	283	283	284	284	285	285	286	286	287	287	288	288	289	289	290	290	291	291	292	292	293	293	294	294	295	295	296	296	297	297	298	298	299	299	300	300	301	301	302	302	303	303	304	304	305	305	306	306	307	307	308	308	309	309	310	310	311	311	312	312	313	313	314	314	315	315	316	316	317	317	318	318	319	319	320	320	321	321	322	322	323	323	324	324	325	325	326	326	327	327	328	328	329	329	330	330	331	331	332	332	333	333	334	334	335	335	336	336	337	337	338	338	339	339	340	340	341	341	342	342	343	343	344	344	345	345	346	346	347	347	348	348	349	349	350	350	351	351	352	352	353	353	354	354	355	355	356	356	357	357	358	358	359	359	360	360	361	361	362	362	363	363	364	364	365	365	366	366	367	367	368	368	369	369	370	370	371	371	372	372	373	373	374	374	375	375	376	376	377	377	378	378	379	379	380	380	381	381	382	382	383	383	384	384	385	385	386	386	387	387	388	388	389	389	390	390	391	391	392	392	393	393	394	394	395	395	396	396	397	397	398	398	399	399	400	400	401	401	402	402	403	403	404	404	405	405	406	406	407	407	408	408	409	409	410	410	411	411	412	412	413	413	414	414	415	415	416	416	417	417	418	418	419	419	420	420	421	421	422	422	423	423	424	424	425	425	426	426	427	427	428	428	429	429	430	430	431	431	432	432	433	433	434	434	435	435	436	436	437	437	438	438	439	439	440	440	441	441	442	442	443	443	444	444	445	445	446	446	447	447	448	448	449	449	450	450	451	451	452	452	453	453	454	454	455	455	456	456	457	457	458	458	459	459	460	460	461	461	462	462	463	463	464	464	465	465	466	466	467	467	468	468	469	469	470	470	471	471	472	472	473	473	474	474	475	475	476	476	477	477	478	478	479	479	480	480	481	481	482	482	483	483	484	484	485	485	486	486	487	487	488	488	489	489	490	490	491	491	492	492	493	493	494	494	495	495	496	496	497	497	498	498	499	499	500	500	501	501	502	502	503	503	504	504	505	505	506	506	507	507	508	508	509	509	510	510	511	511	512	512	513	513	514	514	515	515	516	516	517	517	518	518	519	519	520	520	521	521	522	522	523	523	524	524	525	525	526	526	527	527	528	528	529	529	530	530	531	531	532	532	533	533	534	534	535	535	536	536	537	537	538	538	539	539	540	540	541	541	542	542	543	543	544	544	545	545	546	546	547	547	548	548	549	549	550	550	551	551	552	552	553	553	554	554	555	555	556	556	557	557	558	558	559	559	560	560	561	561	562	562	563	563	564	564	565	565	566	566	567	567	568	568	569	569	570	570	571	571	572	572	573	573	574	574	575	575	576	576	577	577	578	578	579	579	580	580	581	581	582	582	583	583	584	584	585	585	586	586	587	587	588	588	589	589	590	590	591	591	592	592	593	593	594	594	595	595	596	596	597	597	598	598	599	599	600	600	601	601	602	602	603	603	604	604	605	605	606	606	607	607	608	608	609	609	610	610	611	611	612	612	613	613	614	614	615	615	616	616	617	617	618	618	619	619	620	620	621	621	622	622	623	623	624	624	625	625	626	626	627	627	628	628	629	629	630	630	631	631	632	632	633	633	634	634	635	635	636	636	637	637	638	638	639	639	640	640	641	641	642	642	643	643	644	644	645	645	646	646	647	647	648	648	649	649	650	650	651	651	652	652	653	653	654	654	655	655	656	656	657	657	658	658	659	659	660	660	661	661	662	662	663	663	664	664	665	665	666	666	667	667	668	668	669	669	670	670	671	671	672	672	673	673	674	674	675	675	676	676	677	677	678	678	679	679	680	680	681	681	682	682	683	683	684	684	685	685	686	686	687	687	688	688	689	689	690	690	691	691	692	692	693	693	694	694	695	695	696	696	697	697	698	698	699	699	700	700	701	701	702	702	703	703	704	704	705	705	706	706	707	707	708	708	709	709	710	710	711	711	712	712	713	713	714	714	715	715	716	716	717	717	718	718	719	719	720	720	721	721	722	722	723	723	724	724	725	725	726	726	727	727	728	728	729	729	730	730	731	731	732	732	733	733	734	734	735	735	736	736	737	737	738	738	739	739	740	740	741	741	742	742	743	743	744	744	745	745	746	746	747	747	748	748	749	749	750	750	751	751	752	752	753	753	754	754	755	755	756	756	757	757	758	758	759	759	760	760	761	761	762	762	763	763	764	764	765	765	766	766	767	767	768	768	769	769	770	770	771	771	772	772	773	773	774	774	775	775	776	776	777	777	778	778	779	779	780	780	781	781	782	782	783	783	784	784	785	785	786	786	787	787	788	788	789	789	790	790	791	791

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

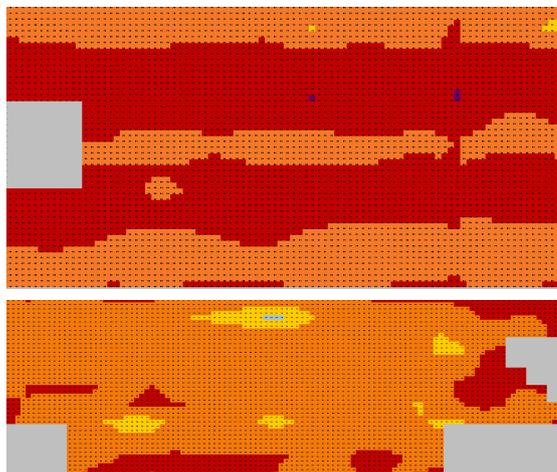
**Une augmentation de HLI de 10 correspond à une hausse de température corporelle de 0,3°C (Gaughan *et al.* 2007).**

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 :

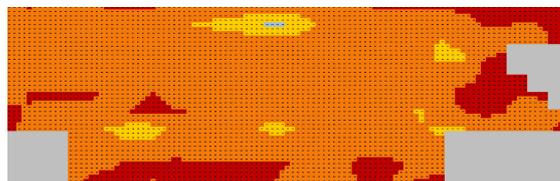
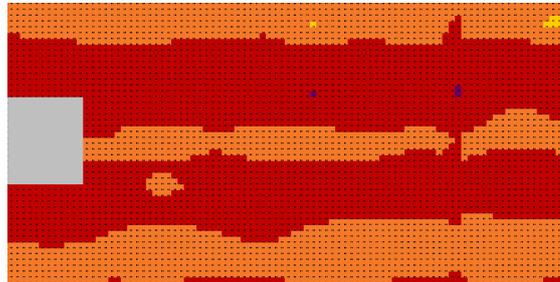
- **Vitesses d'air : anémomètre à fil chaud**
  - **A hauteur des animaux.**
  - **Eloigner le plus possible la sonde à fil chaud de votre corps et l'orienter vers le sens du vent/ventilateur**
  - **Réaliser une moyenne sur une durée d'une durée de minimum 30s**
- **Variation lente de la température 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

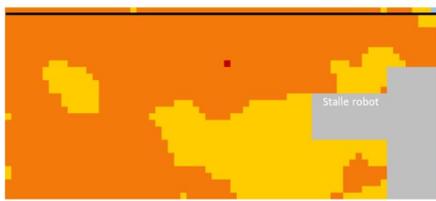
Codage des valeurs selon 5 niveaux de stress

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

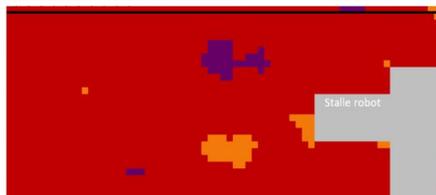


13

## 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

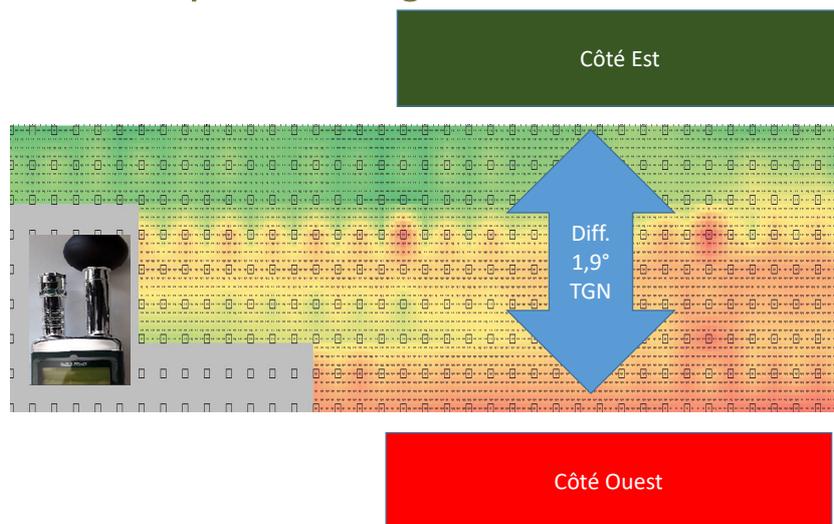
Conditions	Seuils de l'indice HLI	
	en °F	en °C
Pas de stress	< 70 °F	< 21 °C
Stress léger	70-77 °F	21-25 °C
Stress modéré	77-86 °F	25-30 °C
Stress sévère	86-96 °F	30-35,5 °C
Stress extrême	> 96 °F	> 35,5 °C



## 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 translucide 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







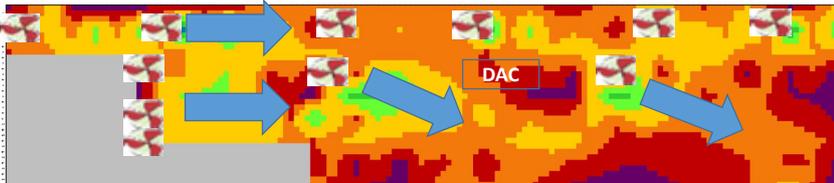


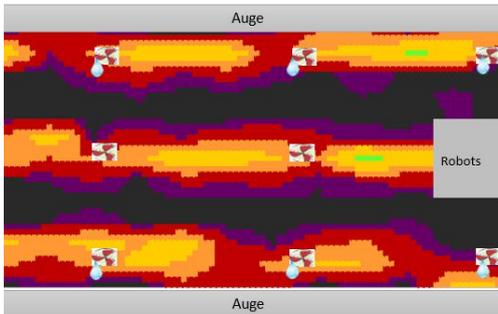



19

## 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)

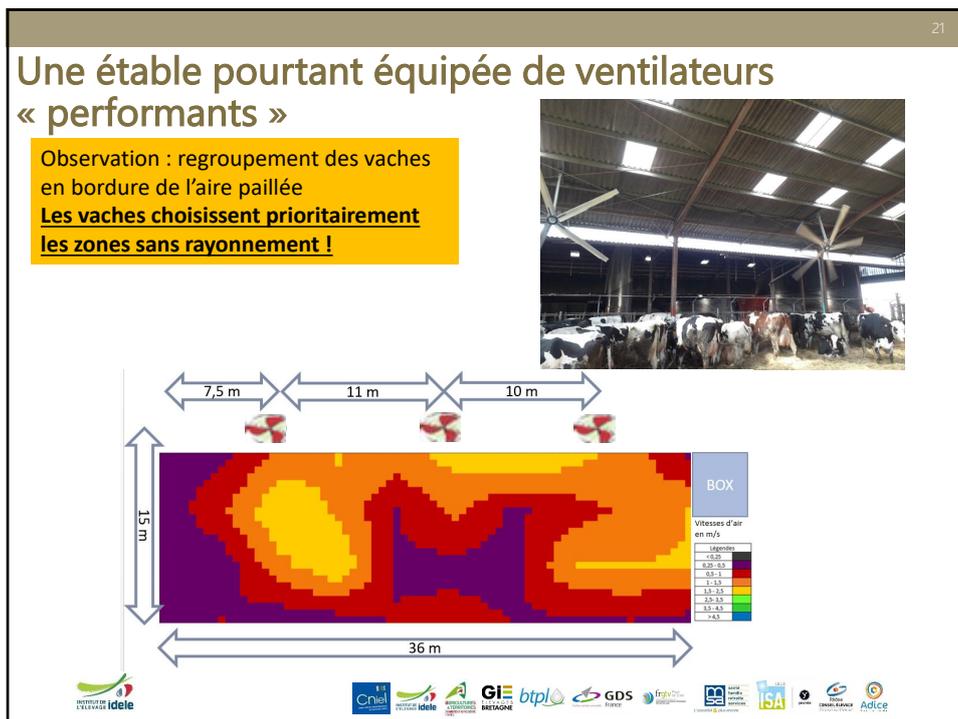










22

## 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 L'ÉLEVAGE **idèle**

RESEAU NATIONAL D'ÉLEVAGE **BRETAGNE**

GI **btpl**

GDS

frayr

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 \_\_\_\_\_

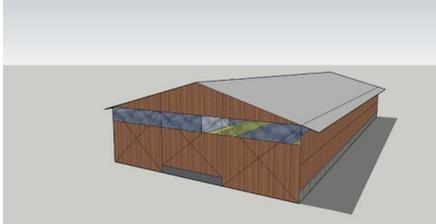
## Des réflexions sur la conception



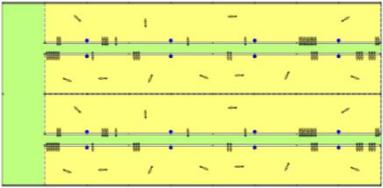
Limiter la maçonnerie



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

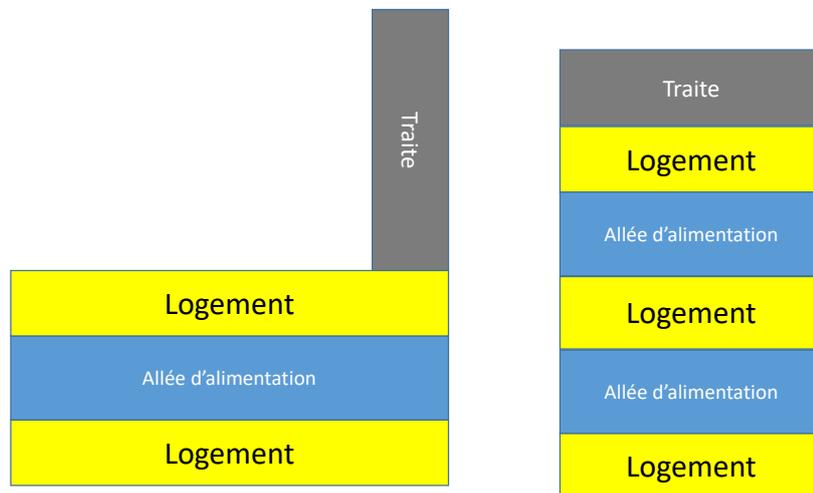


### Des alternatives pour les grandes largeurs






## 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



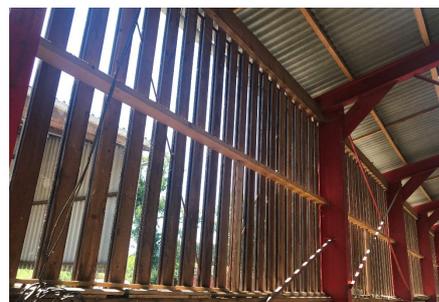
29

Date

Titre de la présentation

30

## Le double bardage coulissant



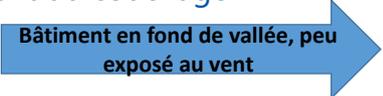


32

## 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>

