

Évaluer l'efficacité de la ventilation par aérogéothermie à filtrer l'air entrant dans les bâtiments porcins

Octobre 2021

Sébastien Turcotte, agr Responsable Bâtiments et régie d'élevage
Jean-Gabriel Turgeon, BSA, Chargé de projet
Gabrielle Dumas, agr, Chargée de projet



Centre de développement
du porc du Québec inc.

Objectifs



- L'objectif principal du projet est d'évaluer l'efficacité de l'aérogéothermie pour filtrer l'air dans une optique de biosécurité et de conditionnement de l'air.
- Les objectifs spécifiques sont de :
 - a) Valider un modèle de contamination de porcelets négatif au vSRRP par aérosols,
 - b) Vérifier que le statut des porcelets séjournant dans une salle d'élevage dont la ventilation provient d'un système d'aérogéothermie reste négatif, alors que le vSRRP est présent dans l'environnement immédiat de l'élevage,
 - c) Déterminer les débits d'air puisés dans le puits de captation selon les paramètres environnementaux,
 - d) Comparer la température et l'humidité de l'air puisé dans le puits de captation avec celles de l'air extérieur.

Aérogéothermie



- L'aérogéothermie c'est quoi?
 - Une méthode permettant de capter l'air contenu dans les interstices du sol
 - Pour ce faire, un puits de captation est enfoui sous terre à proximité du bâtiment.
 - Celui-ci est spécifiquement conçu pour aspirer l'air du sol et le redistribuer dans le bâtiment via des conduites.



Matériel et méthodes

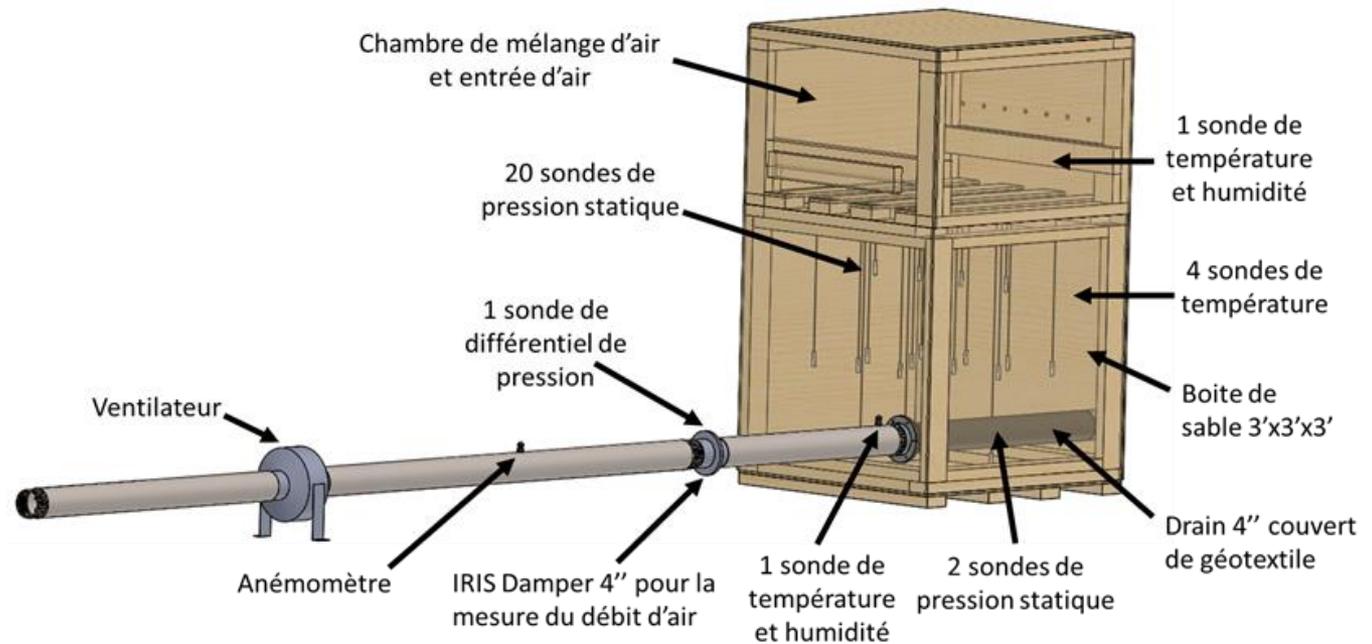


Lieu du projet :

- Station expérimentale de Deschambault du CDPQ, où il y avait un projet en cours sur la résilience des porcelets aux différentes maladies communes dans les élevages québécois (SRRP, Mycoplasme...)
- Le projet à profiter du modèle d'infection naturel des porcelets qui était en place :
 - Entrée de 60 porcelets naïfs toutes les 3 semaines
 - Ces porcelets sont placés dans la pouponnière où 60 autres porcelets positifs aux différentes maladies sont présents
 - Il y a alors une transmission naturelle des différents pathogènes lot après lot
 - plus de 75 lots effectués avant le début du projet en cours
 - Plusieurs mesures et observations étaient faites sur les porcelets permettant de mieux comprendre la transmission des maladies



Matériel et méthodes: Prototype du puits de captation



Matériel et méthodes: Prototype du puits de captation



Un prototype visant à miniaturiser le puits de captation du système d'aérogéothermie a été réalisé dans le but de :

- Simuler la future tranchée excavée à la Station expérimentale de Deschambault et mieux comprendre le fonctionnement de l'aérogéothermie,
- Bien instrumenter le futur puits de captation du système d'aérogéothermie,
- Simuler différentes conditions expérimentales dans un environnement où les conditions frontière sont connues.



Matériel et méthodes: Prototype du puits de captation

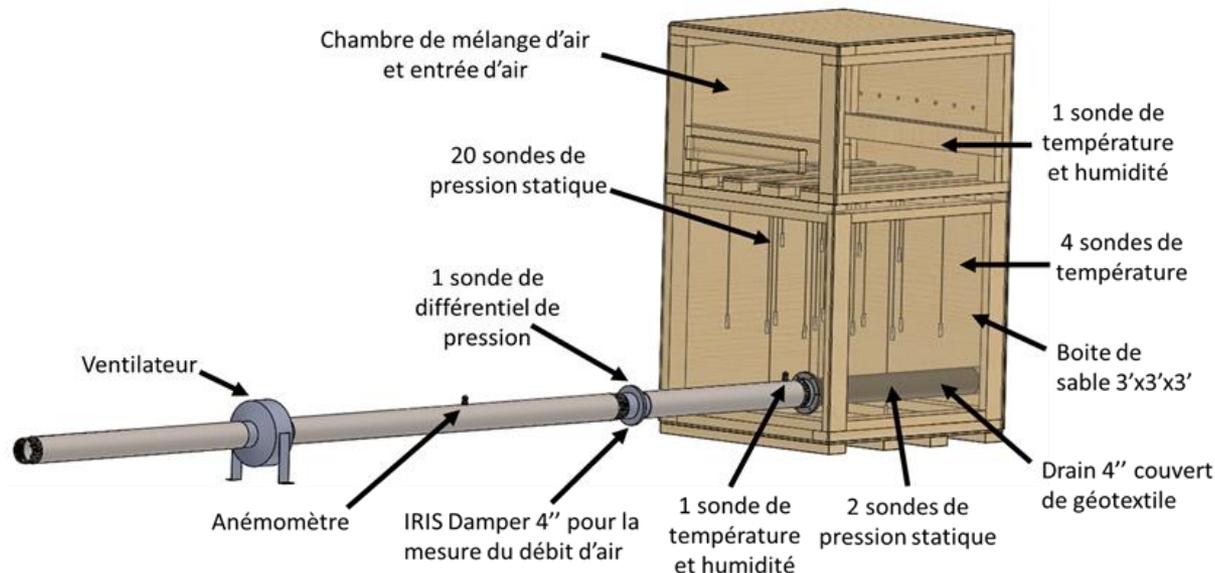


Le prototype consistait en une caisse en bois de 36 po x 36 po x 36 po remplie de sable filtrant, puis raccordée à une conduite de ventilation de 4 po.

- Une chambre de mélange de l'air d'une hauteur de 24" a également été ajoutée au-dessus de la caisse en bois afin de pouvoir y générer de la poussière.

Un ventilateur dont la vitesse est contrôlée manuellement permettait d'aspirer l'air au travers du sable, puis d'un drain recouvert d'un géotextile enterré dans le sable. Un iris permettait d'évaluer le débit d'air.

La mesure du débit d'air était également confirmée à l'aide d'un anémomètre à fil chaud Alnor.

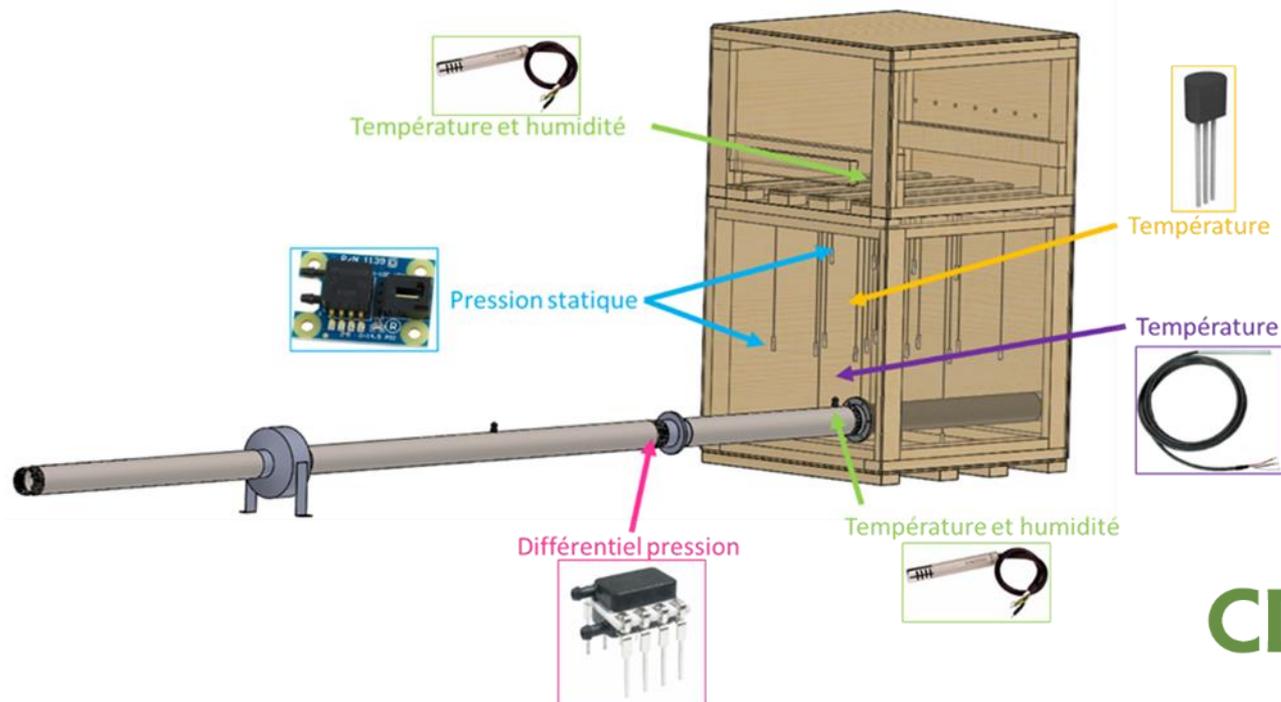


Matériel et méthodes: Prototype du puits de captation



Un convertisseur analogique-numérique connecté à une extension LabJack ainsi qu'un script Python ont permis l'acquisition des données en continu lors des tests.

- 22 sondes de pression ont été placées dans le prototype afin de déterminer la variation spatiale de la pression statique.
- Des sondes de température et d'humidité (6) ont également été placées dans la conduite, à l'entrée du prototype ainsi que dans le sable, afin de déterminer l'effet des conditions environnementales.





Matériel et méthodes:

Validation d'un modèle de contamination de porcelets par aérosols



Matériel et méthodes:

Validation d'un modèle de contamination de porcelets par aérosols



Valider un modèle de contamination de porcelets négatif au vSRRP par aérosols

- Comme il est très difficile et coûteux de détecter le SRRP dans l'air avec des échantillonneurs d'air, l'approche par bio-essais fut privilégiée dans le protocole du projet.
- Des bio-essais extérieurs ont été réalisés afin de confirmer que des porcelets peuvent être contaminés par voie aérienne au vSRRP s'ils sont exposés à l'air d'extraction de la pouponnière contenant des animaux malades à l'intérieur.
(sous-objectif A)



Matériel et méthodes:

Validation d'un modèle de contamination de porcelets par aérosols



Pour ce faire, une conduite en bois a été construite dans le but d'acheminer l'air du ventilateur d'extraction de la pouponnière, où se trouvent des animaux contaminés au vSRRP, à un abri d'auto ou était logés trois porcelets naïfs.

- L'abri d'auto servait à protéger les porcelets des intempéries et aussi à concentrer l'air contaminé de la pouponnière dans l'environnement des porcelets sains
- L'abri auto était positionné au-dessus du puits de captation d'aérogéothermie



Matériel et méthodes:

Validation d'un modèle de contamination de porcelets par aérosols



- À chaque lot, trois porcelets étaient logés dans une cage installée sur une remorque dont l'intérieur a été recouvert de plastique pour faciliter le lavage et la désinfection.
- Un protocole de biosécurité rigoureux, ayant déjà fait ses preuves dans des projets antérieurs, a été mis en place pour réduire les probabilités que les porcelets puissent être contaminés par un autre vecteur que l'air.



Matériel et méthodes:

Validation d'un modèle de contamination de porcelets par aérosols



Dans le but de maintenir les porcelets dans un environnement confortable pour la durée des bio-essais (fait à l'automne 2019), des systèmes de chauffage d'appoint ont été installés :

- Un tapis chauffant installé dans la ripe + 2 lampes infrarouge au-dessus de la cage

Le contrôle des éléments de chauffage et l'enregistrement continu des conditions d'ambiance se sont faits à partir d'un ordinateur et d'un script programmé sur Python.

- Le confort des porcelets était confirmé par des visionnements vidéo

Pour le 3e lot fait (fin octobre), un panneau d'isolant rigide a été installé au-dessus de la cage afin de prévenir que l'eau condensée sur les toiles de l'abri auto ne tombe sur les porcelets. Une chaufferette d'appoint a également été ajoutée .





Matériel et méthodes:

Puits de captation et dispositif expérimental



Matériel et méthodes:

Puits de captation et dispositif expérimental



Puits de captation :

- Tranchée de 60' long x 16' large x 8' de profond

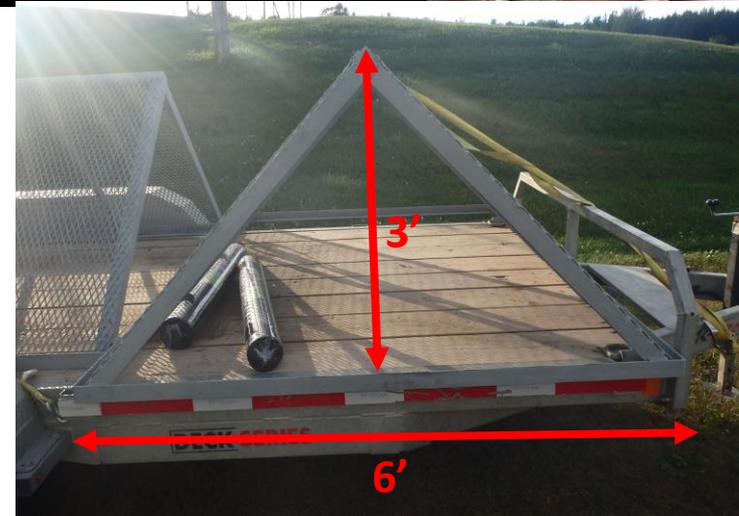


Matériel et méthodes:

Puits de captation et dispositif expérimental



- Puits de captation :
 - Le puits de captation est de forme triangulaire en métal déployé
 - 6' de large x 3' de haut
 - 60 pi de long
 - Il est recouvert d'un géotextile
 - La tranchée a été remblayée avec un sable filtrant Q2-r22
 - Sable ayant des grains de grosseur très homogènes



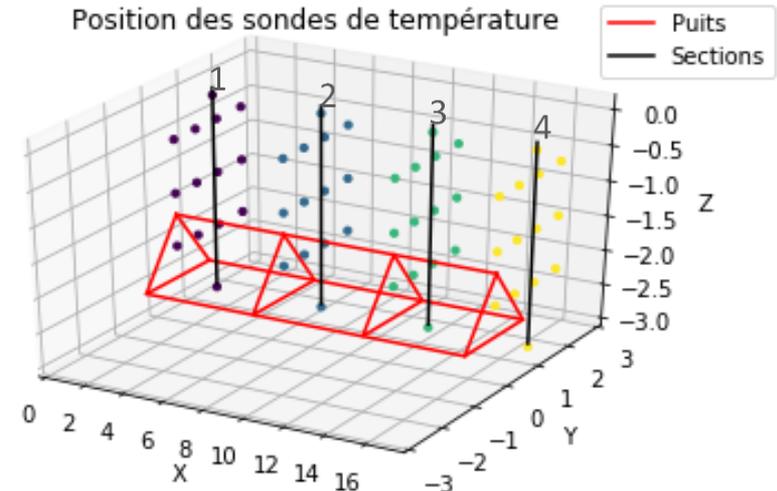
Matériel et méthodes:

Puits de captation et dispositif expérimental



Instrumentation du puits de captation :

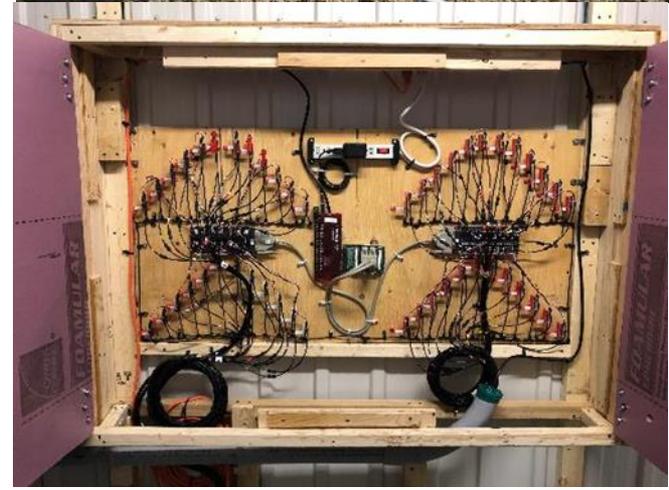
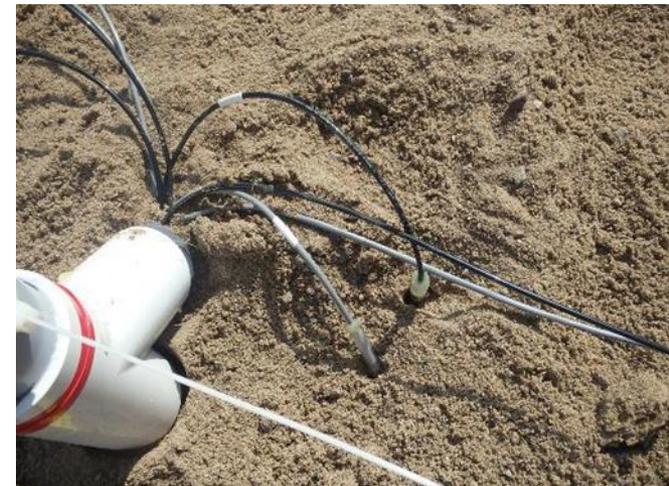
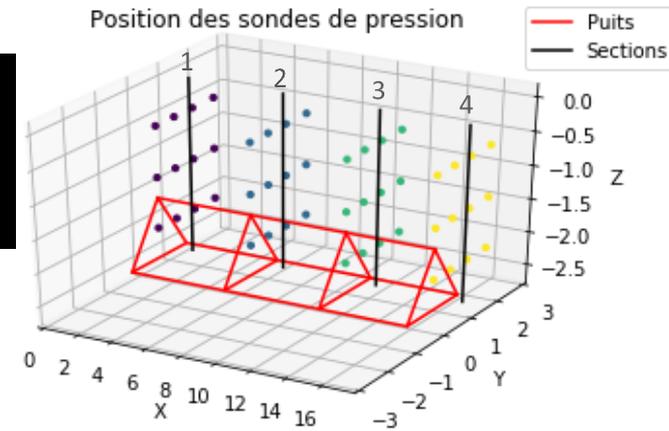
- Installation de 60 sondes de température
 - 4 sondes à l'intérieur du puits de captation
 - Emplacement # 1 : 4' du bout,
 - Emplacement # 2 : 22' du bout,
 - Emplacement # 3 : 40' de bout,
 - Emplacement # 4 : 56' du bout.
 - 4 sondes installées dans le sol non remanié



Matériel et méthodes:

Puits de captation et dispositif expérimental

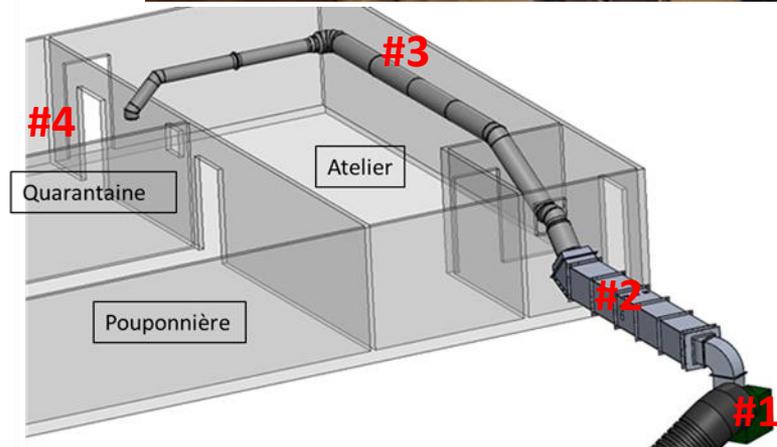
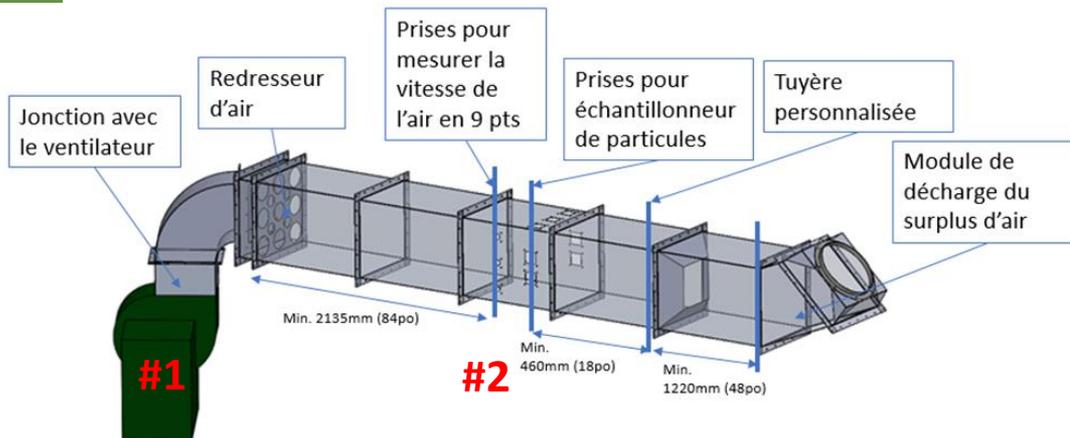
- Instrumentation du puits de captation:
 - Installation de 48 sondes de pressions
 - 4 sondes dans le puits de captation
 - 44 sondes à trois profondeurs différentes sur 4 emplacements de la longueur du puits



Matériel et méthodes:

Puits de captation et dispositif expérimental

Le puits de captation est ensuite raccordé à un ventilateur (#1) qui permet d'aspirer l'air du puits de captation et de la pousser via une conduite carrée (#2) permettant d'effectuer des prises de mesure, suivi d'une conduite circulaire (#3) avant d'arrivé dans la section quarantaine (#4) de la Station de Deschambault.



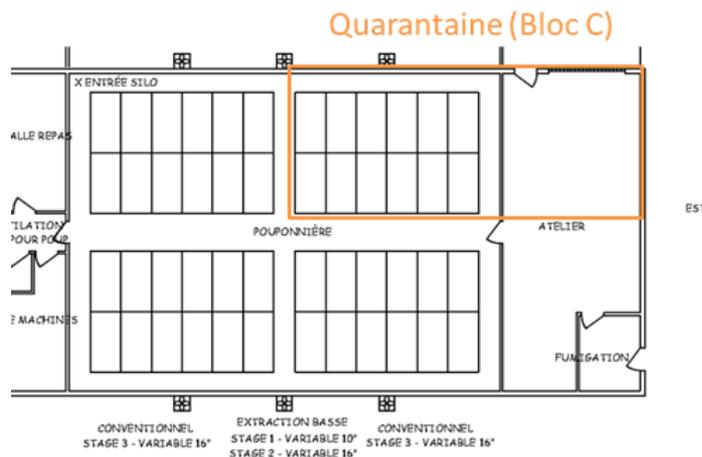
Matériel et méthodes:

Puits de captation et dispositif expérimental

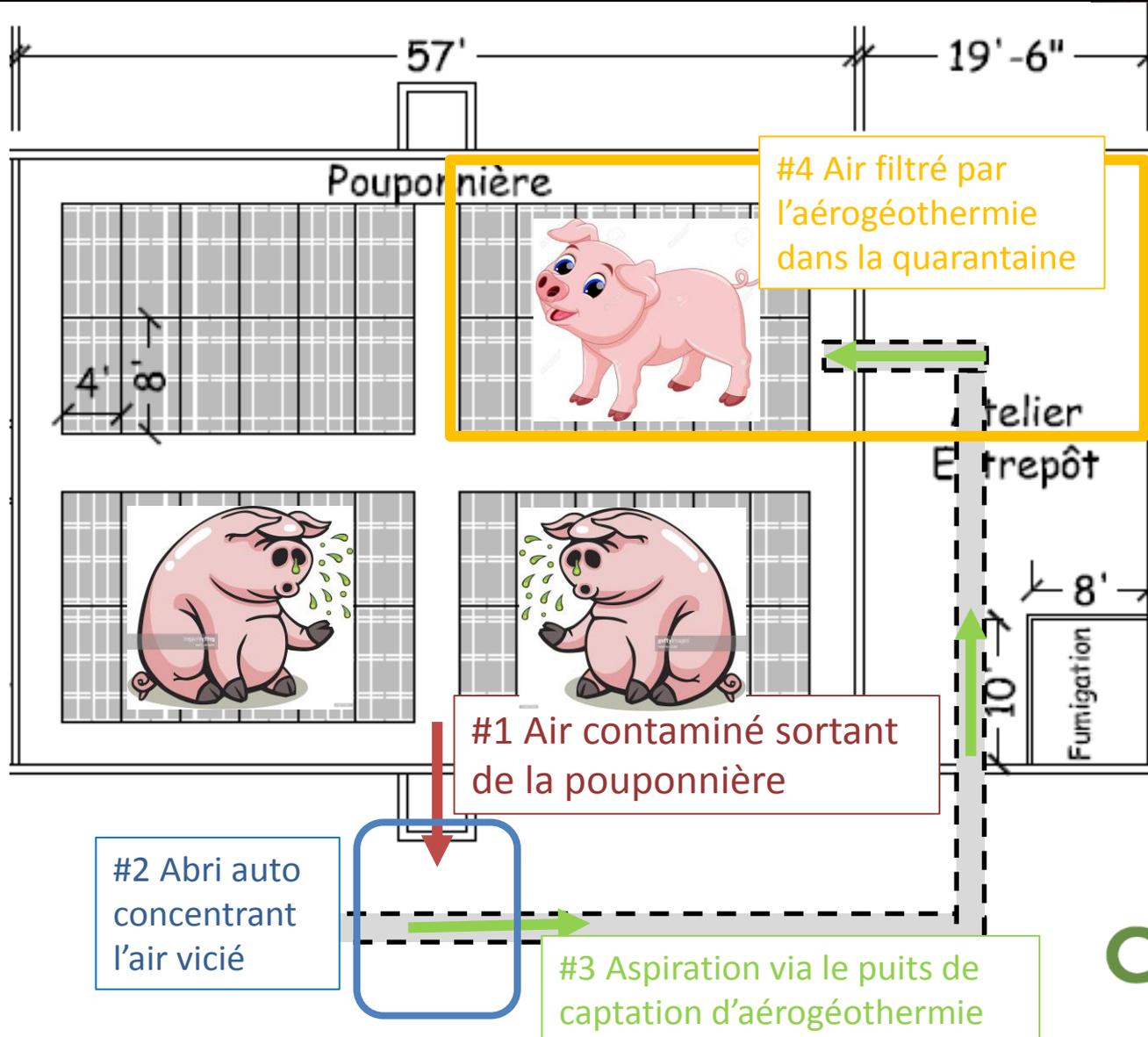


L'air provenant du système d'aérogéothermie arrive ensuite dans la quarantaine de la pouponnière du CDPQ,

- Ce local est un environnement exempt de vSRRP et les porcelets y séjournent habituellement 19 jours avant d'être transférés vers la pouponnière qui est contaminée
 - Des tests sérologiques confirmaient le statut sanitaire des porcelets à l'entrée et à la sortie
- Les porcelets étaient placés dans quatre parcs de 15 animaux chacun.



Dispositif expérimental





Résultat des essais avec le prototype



Quatre différents essais ont été effectués à l'aide du prototype :

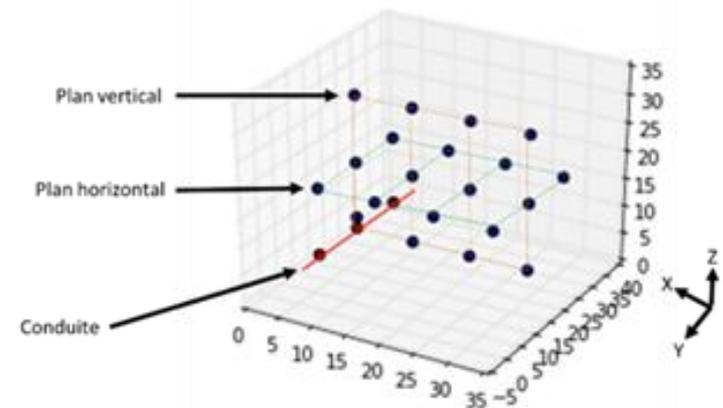
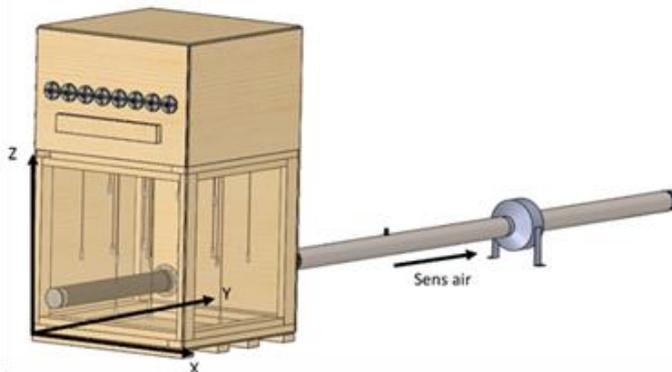
- Essai #1 :
 - Étude du différentiel de pression statique observé dans un puits de captation miniaturisé
- Essai #2 :
 - Estimation de l'efficacité de capture d'une section de sable de 75 cm de profondeur par l'aérosolisation de poussières à l'aide d'un générateur de poussières dans une chambre de mélange immédiatement au-dessus du sol ;
- Essai #3 :
 - Étude de l'influence d'un couvert végétal au-dessus du sol sur la distribution de la pression statique dans la section de sol et les débits d'air extrait ;
- Essai #4 :
 - Simulation d'une pluie et observation du comportement du puits de captation miniaturisé alors que l'eau s'infiltré dans le sol.

Résultat avec le prototype:

Essai #1: Étude du différentiel de pression statique



- La variation de la pression statique a été mesurée à quatre vitesses de ventilateur :
 - vitesse maximale, moyen-maximale, moyen-minimale et minimale
 - Objectif: déterminer l'effet de la vitesse du ventilateur sur la distribution de la pression dans le prototype.

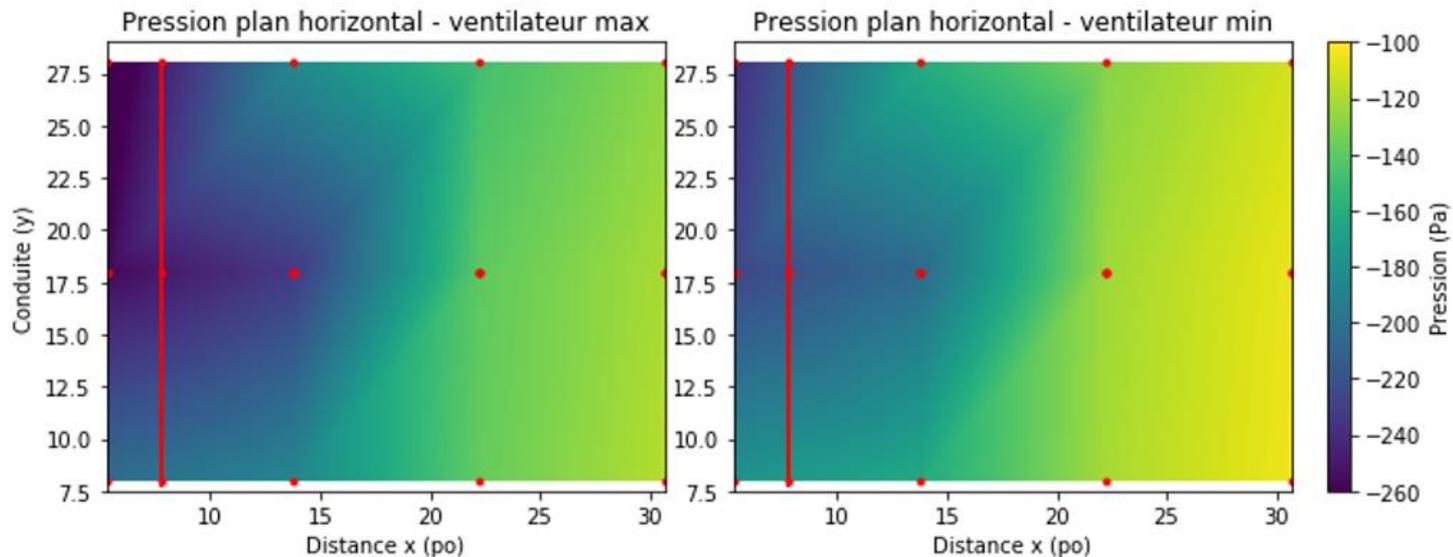


Résultat avec le prototype:

Essai #1: Étude du différentiel de pression statique



- Au plan horizontal:
 - La pression est plus élevée au niveau du drain, tandis qu'elle diminue lorsque l'on s'éloigne de la conduite.
 - Il y a une augmentation de la pression statique mesurée avec l'augmentation de la vitesse du ventilateur

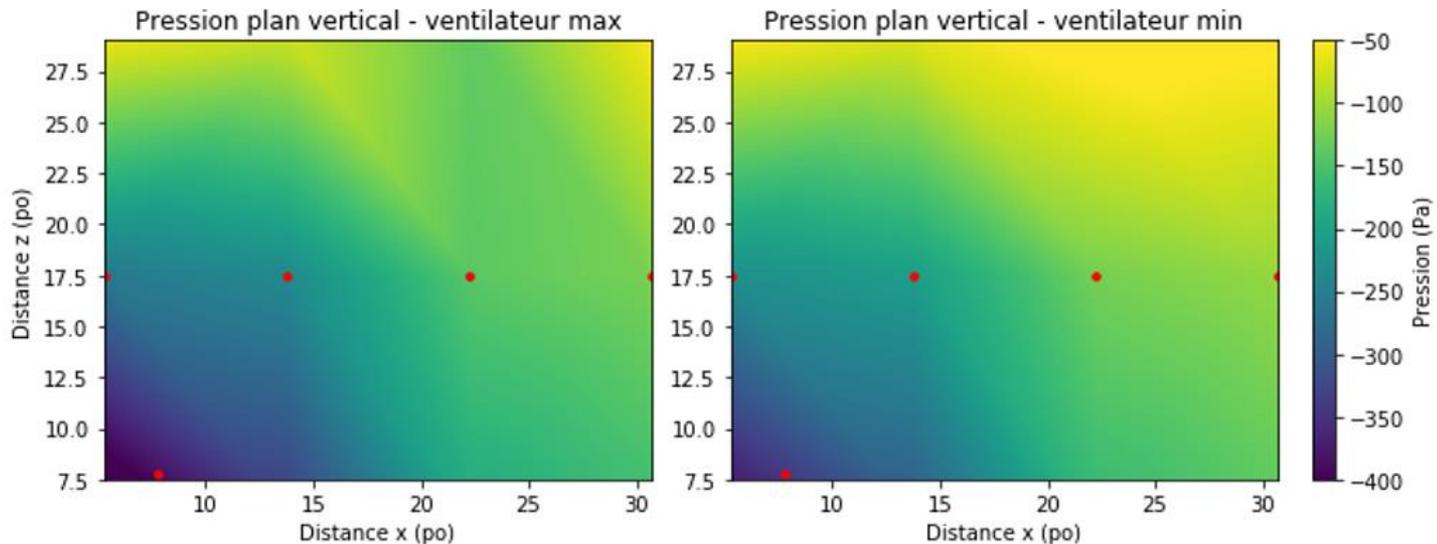


Résultat avec le prototype:

Essai #1: Étude du différentiel de pression statique



- Au plan vertical:
 - La pression est plus élevée au niveau du drain et diminue à mesure que l'on s'éloigne de la conduite
 - La pression statique est plus grande avec l'augmentation de la vitesse du ventilateur



Résultat avec le prototype

Essai #2 : Estimation de l'efficacité de capture du sable



- Le but de cet essai était d'estimer l'efficacité de filtration de l'air d'une section de sable d'environ 75 cm de profondeur.
 - Pour ce faire, de la poussière A3 Medium Standard Dust a été générée à l'aide d'un générateur de poussière dans une chambre de mélange immédiatement au-dessus du sol.
 - Un filtre fut installé au-dessus de la chambre de mélange pour permettre les déplacements d'air entre la chambre de mélange et l'environnement extérieur tout en favorisant le confinement de la poussière.



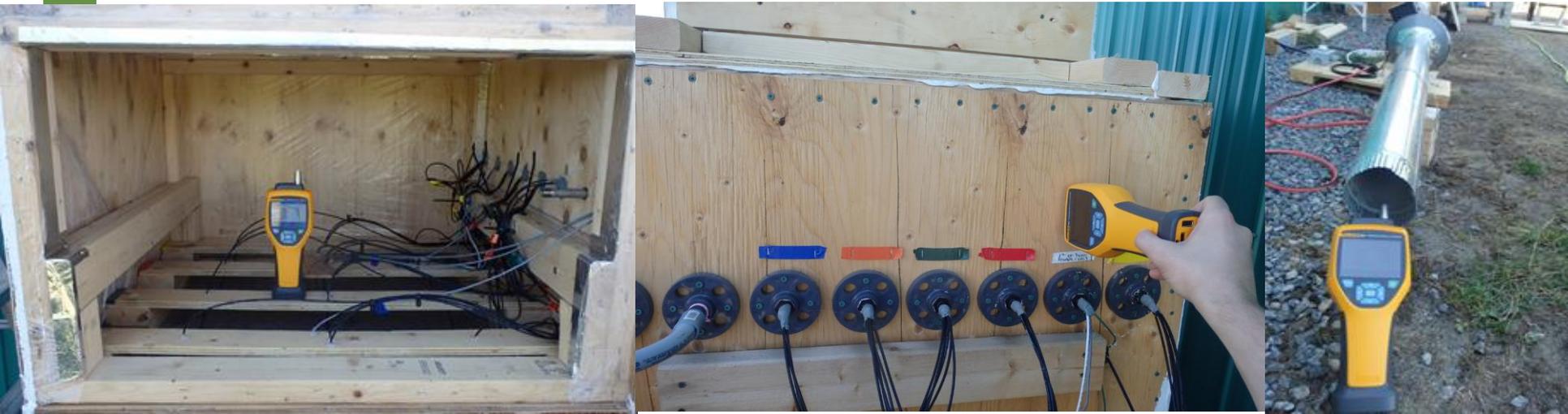
Résultat avec le prototype

Essai #2 : Estimation de l'efficacité de capture du sable



- La numération de poussières a été réalisée à la sortie de la conduite du ventilateur grâce à un compteur de particules Fluke 985.
- Les mesures ont été effectuées à trois emplacements:
 - l'intérieur de la boîte, sur le côté de la boîte et à la sortie de la conduite

***L'échantillonnage dans la conduite n'était pas isocinétique.



Résultat avec le prototype

Essai #2 : Estimation de l'efficacité de capture du sable



- La donnée mesurée à la sortie du tunnel du ventilateur, soit une fois l'air filtré via le lit de sable, est diminuée par rapport à la concentration en particules de l'air ambiant

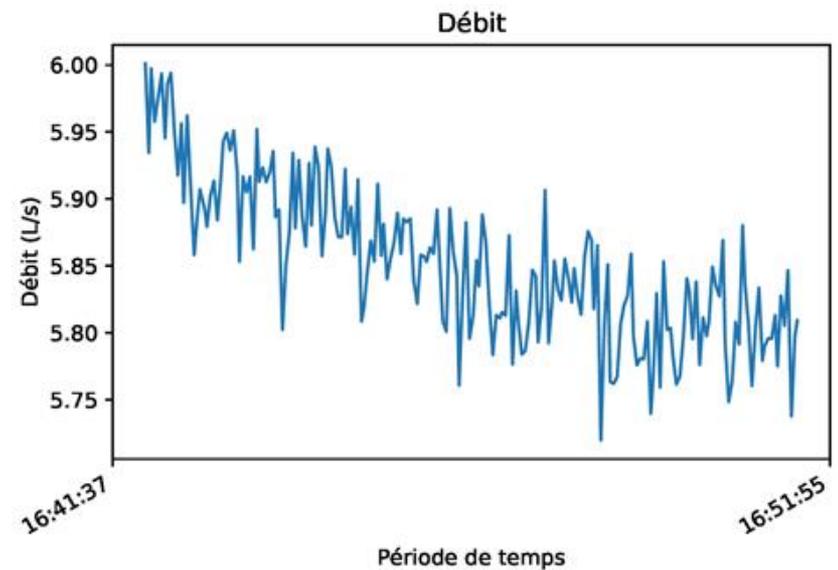
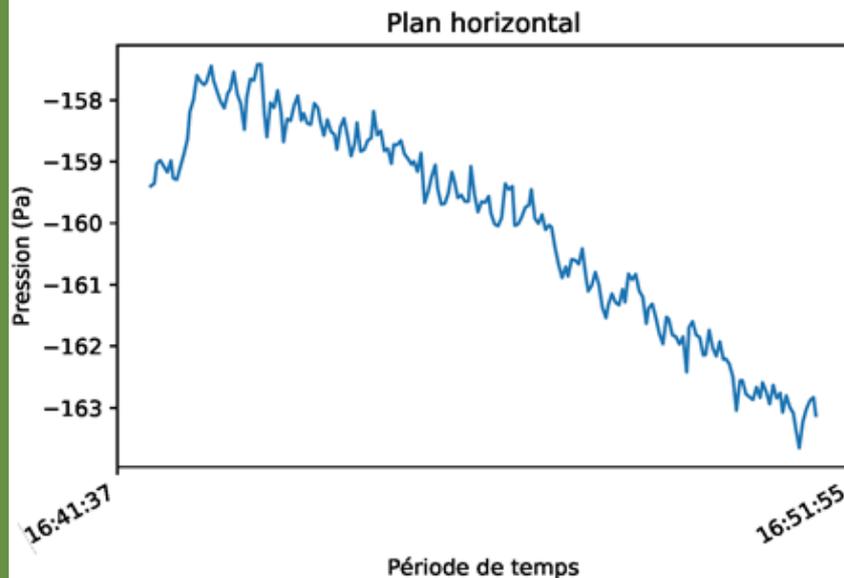
Grosueur des particules	Entrée d'air via le filtre HEPA	Air ambiant extérieur	Air ambiant à l'intérieur boîte (panneau latéral ouvert)	Côté boîte	Sortie tunnel ventilateur
0.3 μm	1	73138	75960	70153	14098
0.5 μm	1	8570	8508	8227	1471
1 μm	0	1364	1177	1050	195
2 μm	0	1111	588	436	92
5 μm	0	400	149	59	5
10 μm	0	323	111	24	3

Résultat avec le prototype

Essai #2 : Estimation de l'efficacité de capture du sable



- Suffisamment de poussières ont été générées au cours de l'essai pour observer une augmentation de la pression moyenne sur le plan horizontal du lit de sable (augmentation négative).
- Il y a également une diminution conséquente du débit, permettant de conclure qu'il y a eu un colmatage graduel du lit de sable



Résultat avec le prototype

Essai #3 : L'influence d'un couvert végétal sur la pression statique et les débits d'air



L'objectif de l'essai était de déterminer l'influence d'un couvert végétal au-dessus du sol sur la distribution de la pression statique dans la section de sol et les débits d'air extrait.

- Pour ce faire, 6 po de sable a été ajouté pour protéger la base des tuyaux d'air déjà présents dans le prototype.
 - Les essais se faisaient ensuite avec ou sans la tourbe, et ce, à trois vitesses de ventilateur (minimum, moyen et maximum).
 - La tourbe était essentiellement constituée de 4 morceaux. De la terre plus argileuse a été ajoutée pour ajuster au mieux les joints entre les morceaux. Le sol du couvert végétal était très argileux et légèrement humide.



Résultat avec le prototype

Essai #3 : L'influence d'un couvert végétal sur la pression statique et les débits d'air



- Le débit d'air extrait du prototype n'est pas affecté par l'ajout du couvert végétal.
 - Le différentiel de pression à l'iris mesuré, qu'il y ait présence de couvert végétal ou non, a été similaire pour les trois vitesses de ventilateur.
 - Le débit d'air était toutefois plus faible que lors des essais précédents. Cela peut potentiellement être expliqué par l'épaisseur de sable additionnel ajouté avec le couvert végétal.

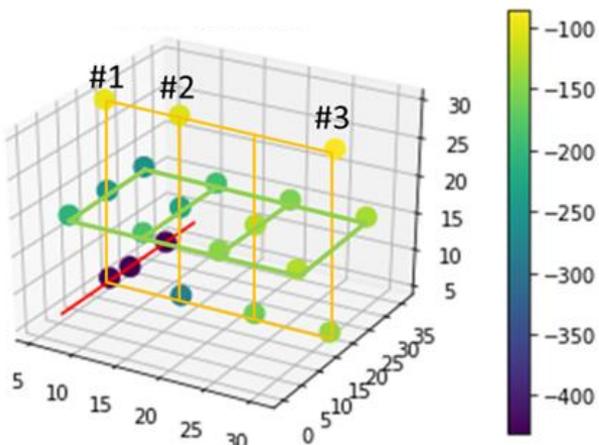
Vitesse ventilateur	Différentiel iris (Pa)		Débit (L/s)
	Sans couvert végétal	Avec couvert végétal	
Minimum	34-35	34-35	5,27
Moyen	36-37	36-37	5,42
Maximum	41-43	42-43	5,81

Résultat avec le prototype

Essai #3 : L'influence d'un couvert végétal sur la pression statique et les débits d'air



- La pression statique mesurée aux points de surface (sondes situées près de la surface du sol) est plus faible avec la présence du couvert végétal
 - Ces résultats permettent d'envisager que les racines des végétaux semblent favoriser l'écoulement de l'air
- Il est possible de conclure que le couvert végétal a un effet sur la pression statique mesurée dans le prototype.
 - Cependant, il pourrait y avoir des effets complexes et interreliés du couvert végétal. Par exemple, il est possible de supposer que les précipitations, la filtration des poussières, le réchauffement du sable causé par le soleil et l'évaporation de l'eau peuvent avoir des effets sur la pression statique dans le sol. Ainsi, ces effets n'ont pu être mesurés au cours cet essai du prototype.



	Minimum		Moyen		Maximum	
	Sans couvert	Avec couvert	Sans couvert	Avec couvert	Sans couvert	Avec couvert
Pression point #1	-97	-105	-104	-111	-105	-113
Pression point #2	-104	-112	-112	-119	-113	-121
Pression point #3	-85	-91	-91	-97	-91	-99

Résultat avec le prototype

Essai #4 : impact de la pluie sur le comportement du puits de captation



L'objectif de cet essai était de simuler une pluie et d'observer le comportement du puits de captation miniaturisé lorsque l'eau s'infiltré dans le sol.

Une pluie de 34 mm a été simulée avec le prototype.

- Dans un premier temps, 2 L d'eau ont été ajoutés à l'aide d'un sac de plastique percé, simulant une pluie de 24 mm.
- Un ajout de 0.85 L d'eau (portant la hauteur d'eau moyenne à 34 mm) a été vaporisé sur les zones de la surface qui n'avaient pas été totalement aspergées.

**Comme le fond de la structure n'était pas drainé, la simulation s'est terminée lorsque l'eau atteignait la conduite.

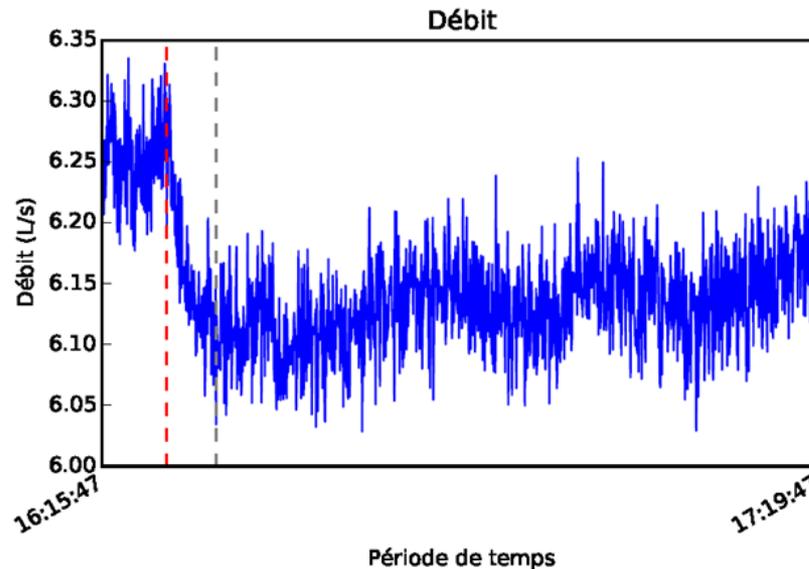


Résultat avec le prototype

Essai #4 : impact de la pluie sur le comportement du puits de captation



- Le débit est légèrement affecté par l'apport d'eau.
 - La diminution mesurée est approximativement de 2.5%.
 - Avec le temps, le débit recommence à augmenter.



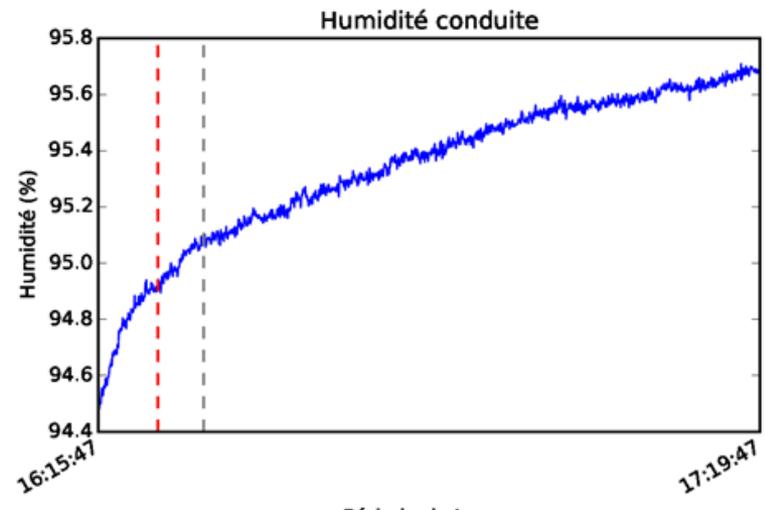
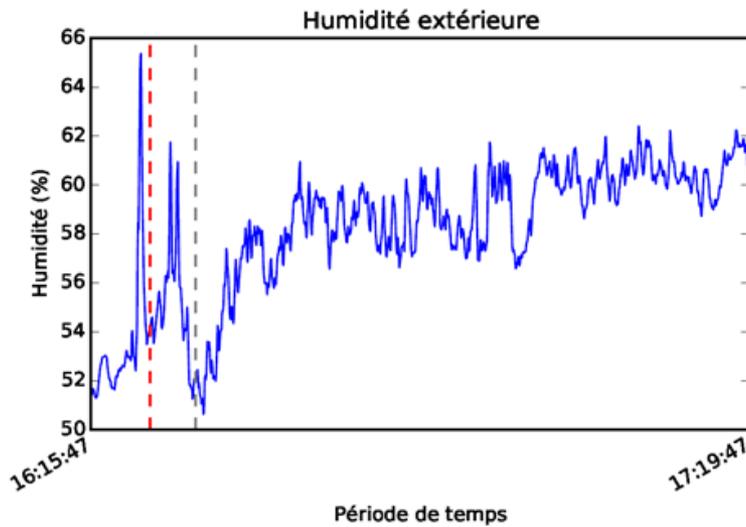
La ligne rouge représente le premier ajout d'eau (2 L) tandis que la ligne grise représente le 2e ajout d'eau (0.85 L).

Résultat avec le prototype

Essai #4 : impact de la pluie sur le comportement du puits de captation



- Humidité:
 - Il est possible d'observer que l'humidité relative dans la conduite d'extraction était très élevée (94%) avant même l'ajout de l'eau.
 - Cela peut être expliqué par le fait que le prototype est fabriqué en bois et qu'il est exposé aux précipitations
 - L'humidité dans la conduite a augmenté pendant l'essai (1 heure). En situation réelle de la conduite d'aérogéothermie, il est fort probable que l'écoulement d'air va assécher la tranchée
 - Ceci a pour effet d'augmenter l'humidité relative de l'air à la sortie.



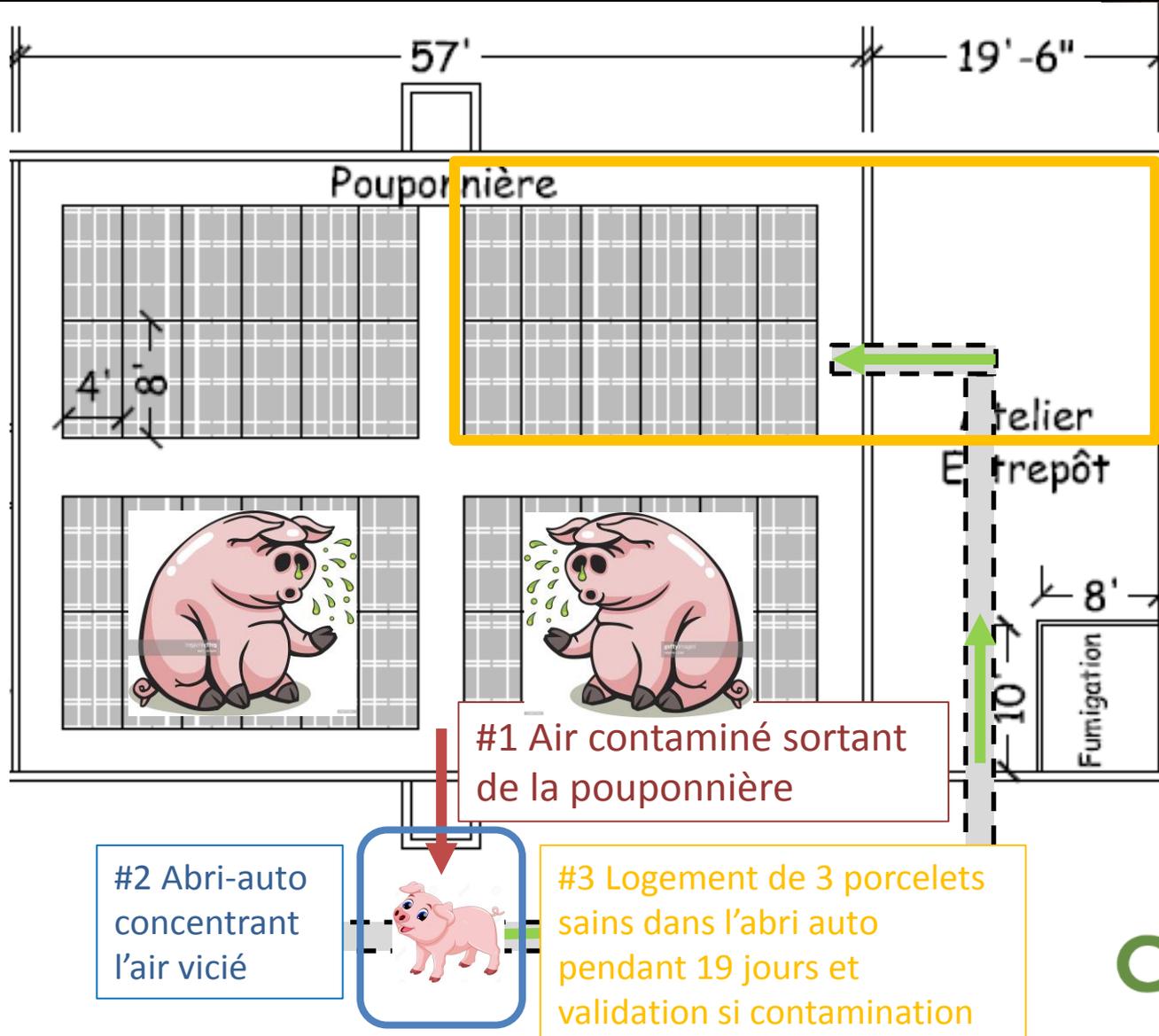


Résultats des Bio-essais



Bio-essais extérieurs:

Dispositif expérimental



Résultats des bio-essais extérieurs

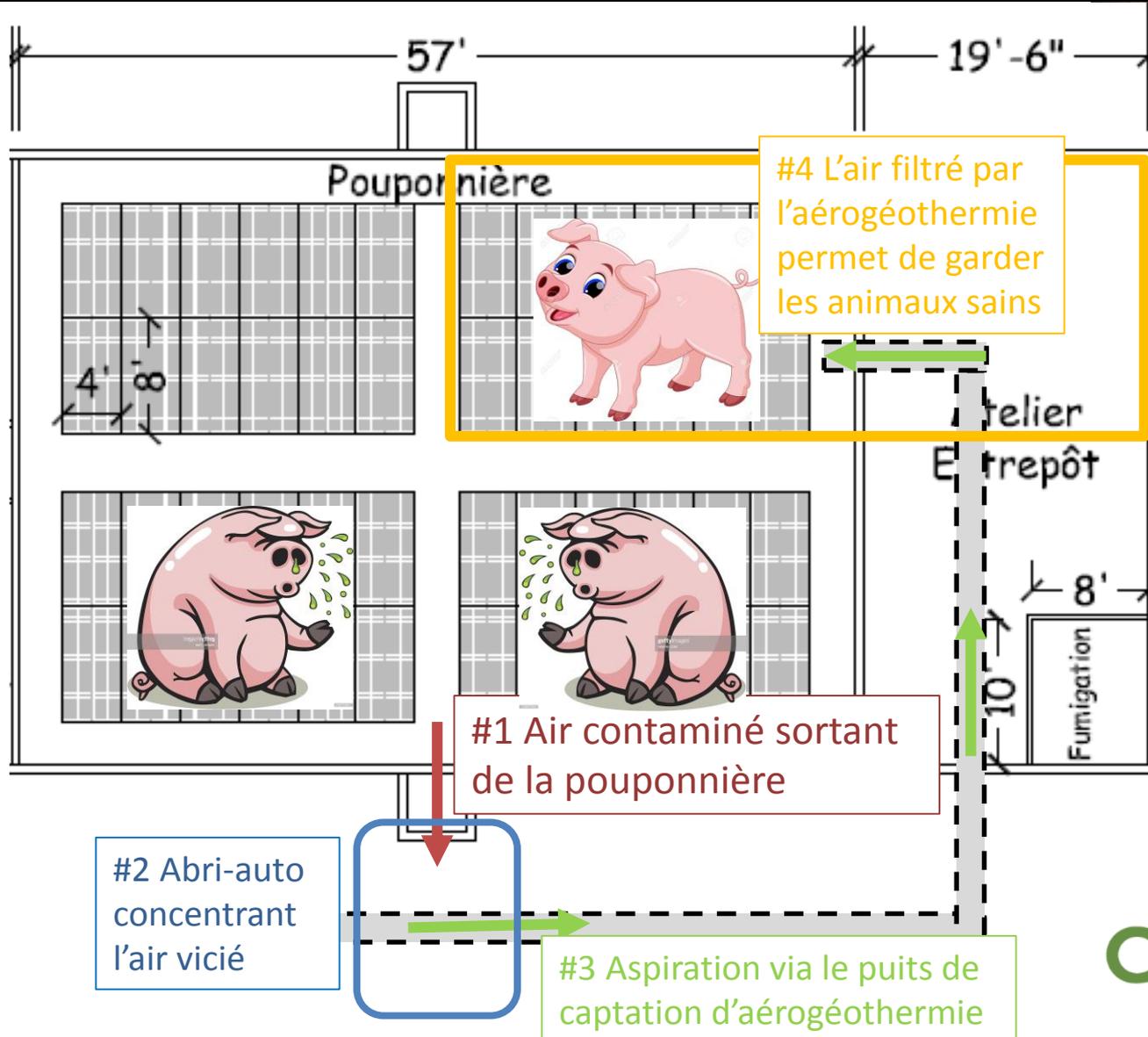


- Les trois lots de porcelets qui ont été exposés à l'air d'extraction de la pouponnière où était logés des porcelets malades ont été contaminés par le vSRRP.
 - Il est donc possible de conclure que l'air vicié sortant de la pouponnière contaminé contenait du vSRRP et que ces derniers étaient en concentration suffisante pour contaminer les porcelets sains.
- Cette étape était essentielle pour la suite du projet:
 - Il est maintenant démontré les aérosols présents à la ferme peuvent transmettre la maladie aux porcelets en santé.
 - Ceci permettra de valider l'efficacité de filtration du système d'aérogéothermie, car le puits de captation du système d'aérogéothermie est installé en dessous de l'abri auto où de l'air vicié est concentré.
 - Donc si l'air puisé dans le système est envoyé à des porcelets sains et que ces derniers restent en bonne santé, nous pourrions conclure que le système est efficace pour le conditionnement de l'air en matière de biosécurité.



Résultats des bio-essais intérieurs

Dispositif expérimental



Résultats sur les bio-essais intérieurs

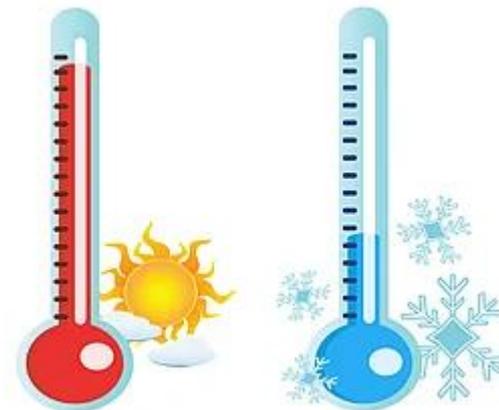


- 9 lots de 60 porcelets ont été exposés à l'air provenant du puits de captation d'aérogéothermie où de l'air contaminé était concentré à la surface de celui-ci.
- De ces lots, aucun ne s'est contaminé au vSRRP.
 - Il est possible de confirmer que le sol possède la capacité de filtrer l'air et que des pathogènes comme le vSRRP n'ont pas réussi à passer au travers du sable filtrant.





Résultats sur le conditionnement de l'air puisé par le système d'aérogéothermie



© CanStockPhoto.com

Résultats sur le conditionnement de l'air: température



- Dans le système d'aérogéothermie, le sol agit comme un «stabilisateur » de la température de l'air puisé en raison de son inertie thermique.
 - Les températures moyennes mensuelles de l'air puisé dans le puits de captation du système d'aérogéothermie sont généralement supérieures à la température moyenne mensuelle extérieure, et ce, été comme hiver
 - L'effet de l'inertie thermique du sol est plus marqué lors du changement des saisons
 - Pendant l'été, le sol emmagasine beaucoup d'énergie sous forme de chaleur et cette chaleur est utilisée pour réchauffer l'air du puits de captation pendant l'automne et l'hiver (de septembre à mars).
 - Pendant la saison froide, cette chaleur se dissipe peu à peu. Au moment du printemps (avril), la température moyenne mensuelle de l'air puisé dans le puits de captation est ainsi inférieure à la température moyenne mensuelle extérieure.

Résultats sur le conditionnement de l'air: température

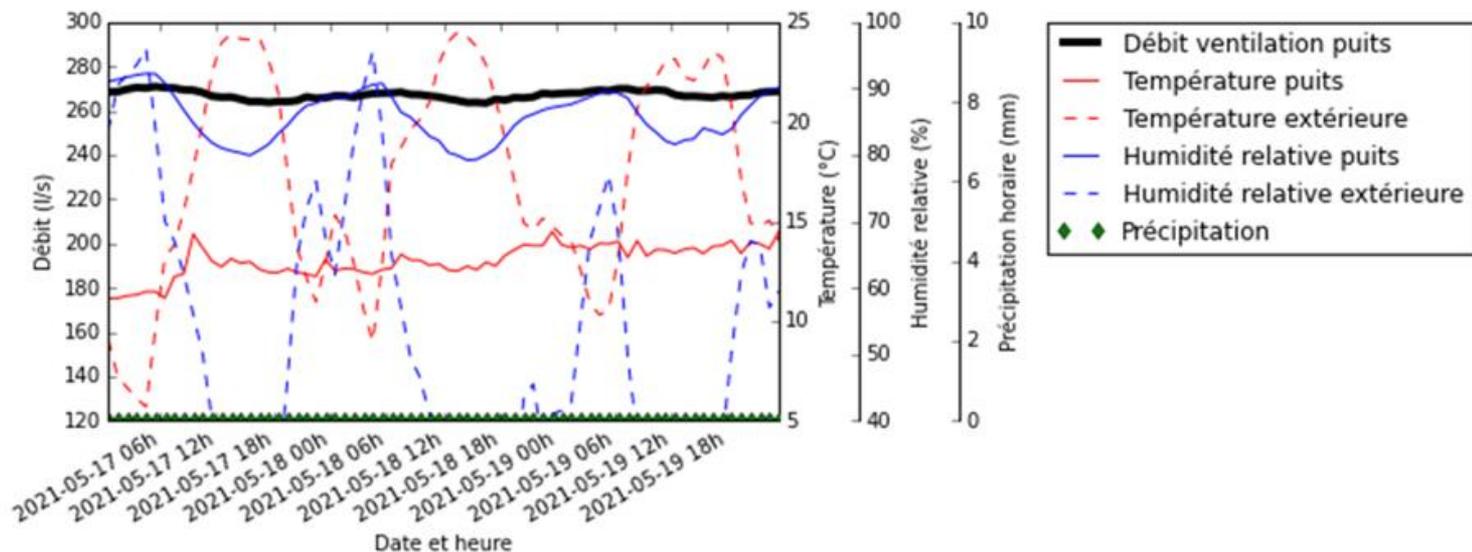


Mois	Température moyenne mensuelle aérogéothermie (°C)	Température min/max aérogéothermie durant le mois (°C)	Température moyenne mensuelle extérieure (°C)	Température min/max extérieur durant le mois (°C)	Moyenne mensuelle des écarts quotidiens entre la température extérieure et la température aérogéothermie	
					Écart minimum (°C)	Écart maximum (°C)
Juillet 2020	22.4±2.2	[19;26]	20.9	[9;34]	-6.2±3.8	5.7±5.4
Août 2020	22.1±2.2	[17;26]	17.6	[2;31]	-3.5±3.9	7.9±3.9
Septembre 2020	15.7±1.9	[12;20]	11.7	[-4;25]	-3.6±3.6	8.1±5.3
Octobre 2020	11.7±1.7	[8;18]	6.2	[-11;20]	-1.0±3.7	7.9±3.9
Novembre 2020	6.1±2.4	[5;8]	0.6	[-11;17]	-1.6±3.5	9.5±2.0
Janvier 2021	3.1±1.3	[0;6]	-7.0	[-21;3]	5.5±4.0	11.8±3.6
Février 2021	-3.6±1.2	[-5;-2]	-9.0	[-28;6]	-1.0±3.4	9.0±5.2
Mars 2021	-1.3±1.1	[-3;0]	-2.4	[-20;16]	-5.0±3.1	5.8±2.7
Avril 2021	5.0±1.6	[0;11]	6.2	[-12;21]	-7.8±2.8	2.7±3.7
Mai 2021	12.2±1.8	[9;18]	11.2	[-4;27]	-6.5±3.9	6.6±4.4
Juin 2021	18.3±2.2	[14;25]	17.7	[3;32]	-7.3±4	5.0±4.2
Juillet 2021	21.1±2.2	[18;25]	17.8	[6;29]	-3.9±3.8	7.4±3.6
Août 2021	21.1±2.2	[18;27]	20.3	[5;32]	-5.8±3.8	5.2±4.7

Résultats sur le conditionnement de l'air : température



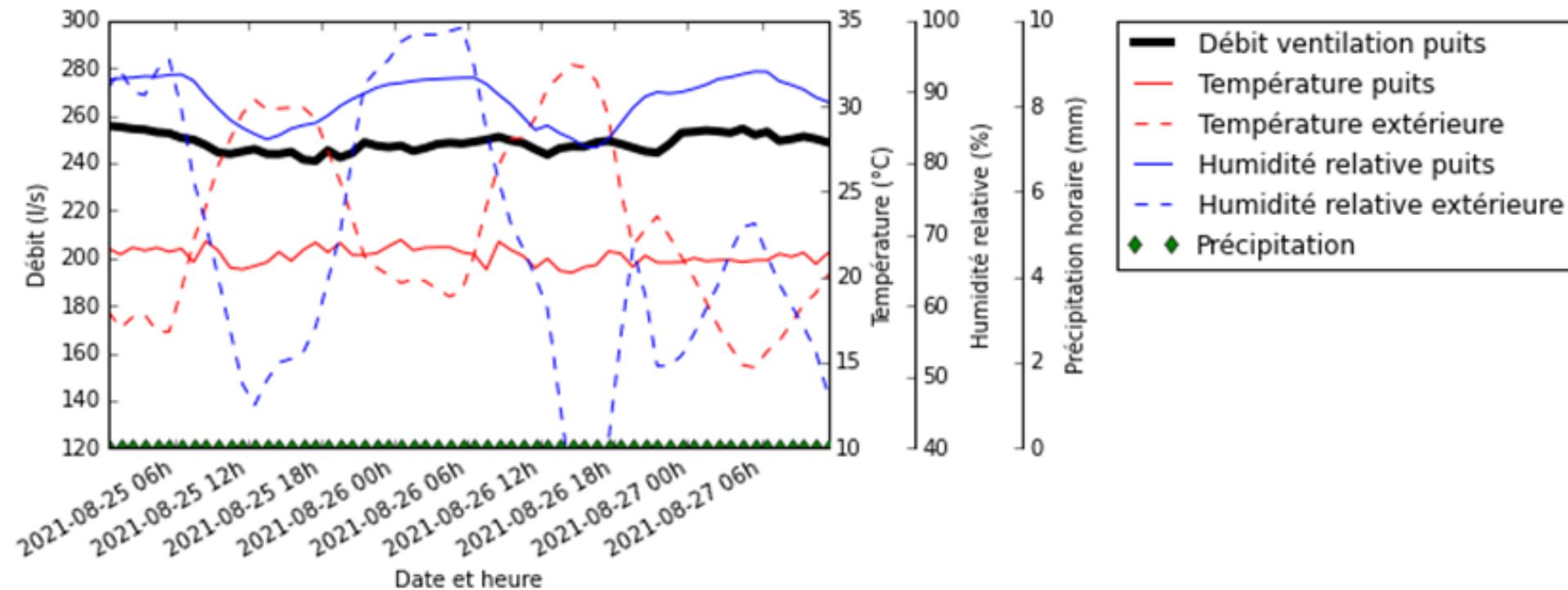
- L'effet journalier du système d'aérogéothermie sur la température de l'air puisé :
 - moins de variations de température que la température extérieure
 - Permet d'éviter des pics de chaleur ou de froid
- Exemple d'une journée typique de mai



Résultats sur le conditionnement de l'air: température



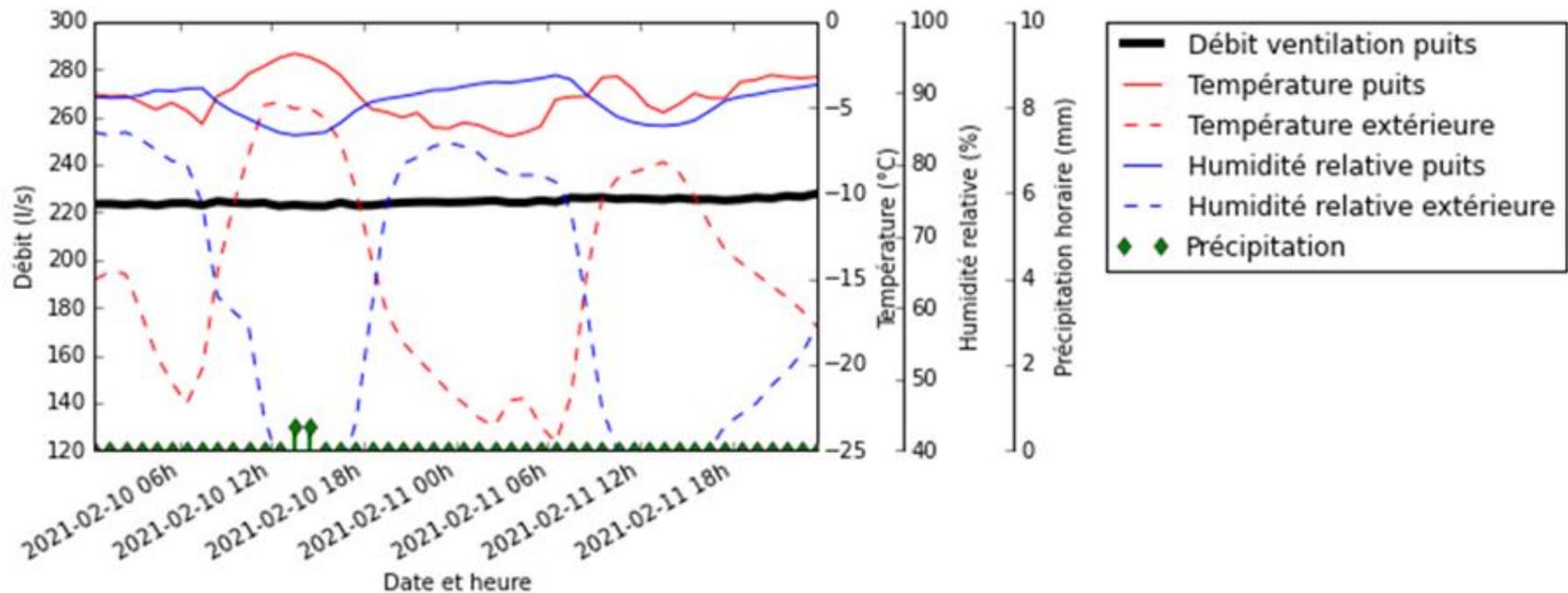
- L'effet de l'aérogéothermie est plus marqué lors des températures extrêmes (Chaud ou froid):
- Exemple de l'effet de l'aérogéothermie lors d'une canicule
 - Température de l'air puisé très stable (21°C)
 - Jusqu'à 12°C de moins que l'air extérieur



Résultats sur le conditionnement de l'air: température



- Exemple de l'effet de l'aérogéothermie lors de grands froids
 - Température de l'air puisé assez stable (environ -5°C)
 - Jusqu'à 20°C plus chaud que l'air extérieur



Résultats sur le conditionnement de l'air:

Humidité relative



- Les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air puisé dans le puits de captation sont très stables tout au long de l'année (entre 86 et 92%) sauf pour le mois de mars 2021 où l'humidité relative de l'air mesuré était de 80%
- De plus, l'humidité relative moyenne mensuelle de l'air puisé est toujours plus élevée que l'humidité relative moyenne mensuelle extérieure

Résultats sur le conditionnement de l'air:

Humidité relative



Mois	Humidité relative moyenne mensuelle aérogéothermie (%)	Humidité relative min/max aérogéothermie durant le mois (%)	Humidité relative moyenne mensuelle extérieure (%)	Ratio d'humidité moyen de l'air aérogéothermie (g d'eau/kg d'air sec)	Ratio d'humidité moyen de l'air aérogéothermie (g d'eau/kg d'air sec)	Augmentation moyenne du ratio d'humidité (%)
Juillet 2020	87±7	[77;94]	76	14±3	11±5	+25%
Août 2020	88±5	[79;95]	81	14±3	10±5	+44%
Septembre 2020	90±6	[81;95]	nan	9±2	nan	nan
Octobre 2020	90±4	[84;94]	82	7±1	5±2	+59%
Novembre 2020	90±4	[83;93]	75	5±1	3±1	+77%
Janvier 2021	92±5	[88;99]	86	4±1	2±2	+124%
Février 2021	86±4	[81;92]	76	2±2	1±1	+81%
Mars 2021	80±12	[57;88]	68	3±3	2±2	+29%
Avril 2021	87±12	[76;94]	64	4±1	4±2	+24%
Mai 2021	88±7	[79;97]	64	7±2	5±4	+48%
Juin 2021	88±5	[80;95]	78	11±2	9±6	+17%
Juillet 2021	89±10	[82;94]	81	13±3	10±5	+36%
Août 2021	89±8	[81;95]	77	13±3	11±4	+22%

Résultats sur le conditionnement de l'air:

Humidité relative



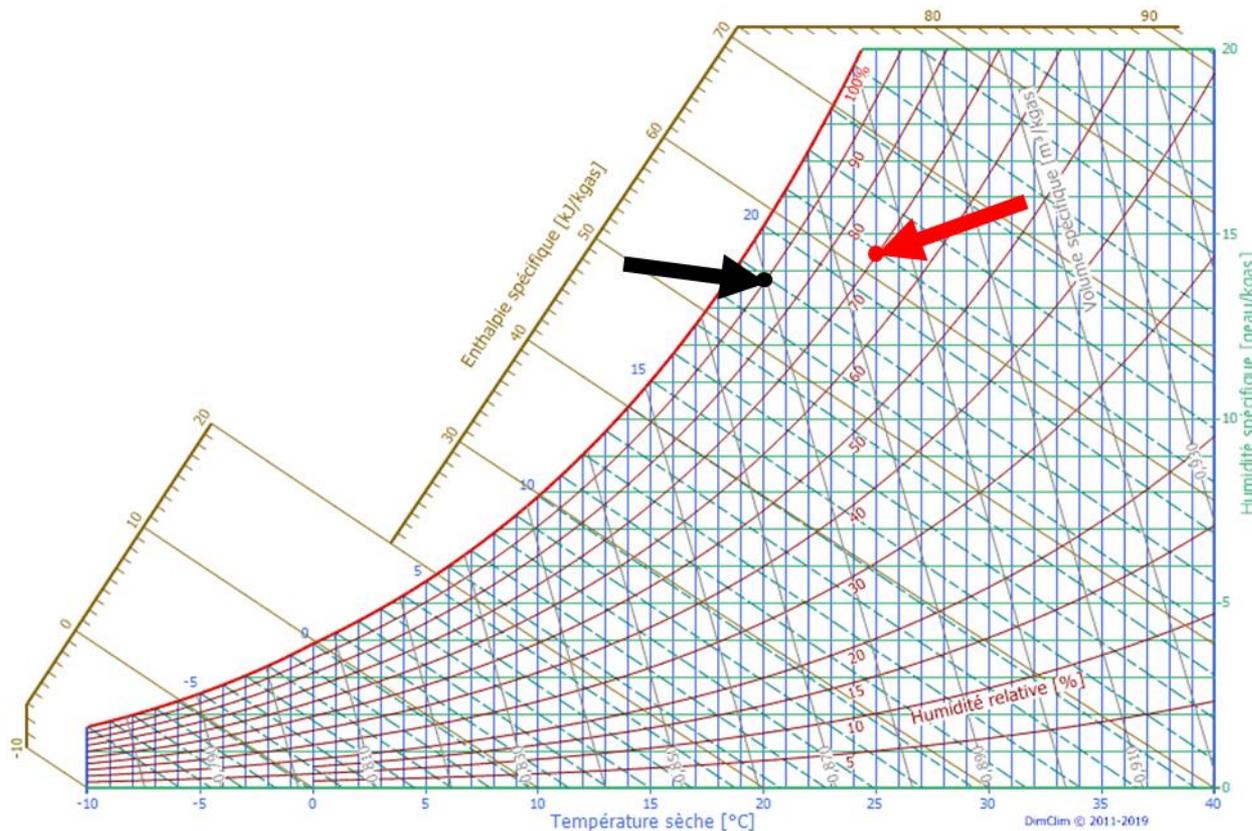
- Le refroidissement de l'air fait donc augmenter l'humidité relative de l'air:
 - L'humidité relative se définit comme la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné par rapport au maximum qu'il pourrait contenir à une température et une pression donnée.
 - Ainsi, lorsque l'air extérieur chargé d'humidité sillonne les interstices du sol et se refroidit, cet air plus froid possède une capacité inférieure à contenir l'humidité..

Résultats sur le conditionnement de l'air: Humidité relative



Exemple

- En supposant que l'air ne se charge pas en humidité en passant dans le sol, de l'air extérieur à 25°C et 70% HR (flèche rouge) qui se refroidit de 5°C en passant par le sol, en ressortira alors à une température de 20°C et son humidité relative sera de 90% (flèche noire).



Résultats sur le conditionnement de l'air: Humidité relative



- Cependant, même si la tranchée du puits est drainée, le sable accumule tout de même de l'eau, lors de précipitations
 - Cet eau est alors récupérée par l'air extérieur s'infiltrant dans le sol et s'humidifie, augmentant l'humidité relative à ce moment

Résultats sur le conditionnement de l'air:

Débit d'air



- Le débit moyen mensuel est relativement stable durant toute l'année (moyenne de 237 L/s)
 - Variation entre 227 et 257 L/s
 - Sauf pour les mois de février (219 L/s) et de mars (161 L/s)
 - Lors de ces deux mois, les pressions moyennes mensuelles mesurées dans le puits de captation sont les plus négatives.
 - Ceci indique que le système rencontre plus de restrictions et a plus de difficultés à aspirer l'air.
 - De plus, lors de l'analyse des sondes des pressions moyennes mensuelles au niveau des sondes situées près de la surface du sol (sondes enfouies à 20 cm de la surface), les mois de février et de mars ont également les pressions les plus négatives.

Résultats sur le conditionnement de l'air:

Débit d'air



Mois	Débit d'air moyen mensuel aérogéothermie (L/s)	Débit d'air min/max aérogéothermie durant le mois (L/s)	Pression moyenne mensuelle dans le puits aérogéothermie (Pa)	Pression min/max dans le puit aérogéothermie durant le mois (Pa)	Pression moyenne mensuelle à la surface (Pa)	Pression min/max à la surface durant le mois (Pa)
Juillet 2020	251±51	[209;271]	-583±50	[-718;-564]	-101±51	[-168;-81]
Août 2020	227±54	[194;246]	-581±56	[-794;-557]	-91±65	[-196;-74]
Septembre 2020	248±34	[208;269]	-587±51	[-733;-571]	-94±70	[-162;-79]
Octobre 2020	242±38	[207;261]	-603±63	[-893;-538]	-100±81	[-184;-82]
Novembre 2020	257±31	[247;263]	-642±56	[-801;-590]	-162±109	[-220;-110]
Janvier 2021	232±28	[219;239]	-674±51	[-729;-638]	-264±164	[-292;-246]
Février 2021	219±27	[202;229]	-711±55	[-782;-682]	-281±177	[-336;-256]
Mars 2021	161±24	[128;200]	-743±66	[-947;-701]	-460±204	[-616;-234]
Avril 2021	243±52	[167;284]	-691±56	[-793;-650]	-151±77	[-241;-124]
Mai 2021	267±37	[237;277]	-664±66	[-949;-625]	-145±70	[-233;-105]
Juin 2021	248±39	[207;270]	-620±66	[-937;-598]	-104±75	[-170;-83]
Juillet 2021	237±43	[218;255]	-618±68	[-966;-599]	-95±77	[-185;-81]
Août 2021	251±31	[224;262]	-616±68	[-952;-597]	-99±75	[-157;-82]

Résultats sur le conditionnement de l'air: Débit d'air



- Les débits d'air plus faibles de février et de mars coïncident avec la fonte des neiges.
- Il est alors possible que l'eau de la fonte vienne saturer le sol.
 - La combinaison de la saturation et du gel de cette eau de fonte pendant la nuit pourrait causer cette baisse importante (jusqu'à 32%) de débit d'air puisé dans le puits de captation du système d'aérogéothermie lors de ces mois

Résultats sur le conditionnement de l'air:

Débit d'air: impact des précipitations



- Pendant la durée du projet, 47 événements de précipitation ont eu lieu. Ceux-ci ont été classés selon l'intensité (le nombre de mm d'eau reçu au sol)
 - une diminution d'environ 2,1% du débit mesuré lorsqu'il tombe entre 0 et 20 mm de pluie
 - une diminution de 3,7% du débit lorsqu'il tombe entre 20 et 30 mm de pluie
 - une diminution de 8.3% du débit lorsqu'il tombe plus de 30 mm de

Nombre d'évènements s	Intensité de la pluie (mm)	Diminution du débit (%)	dW-1hprec	dW-12hsuiv
14	[0, 2[	0.0%	19.2%	5.5%
18	[2, 5[	-2.2%	20.0%	4.9%
5	[5, 15[	-2.1%	-1.5%	8.2%
5	[15, 20[	-2.1%	10.7%	23.6%
3	[20, 30[	-3.7%	9.3%	29.2%
2	>30	-8.3%	8.1%	18.2%

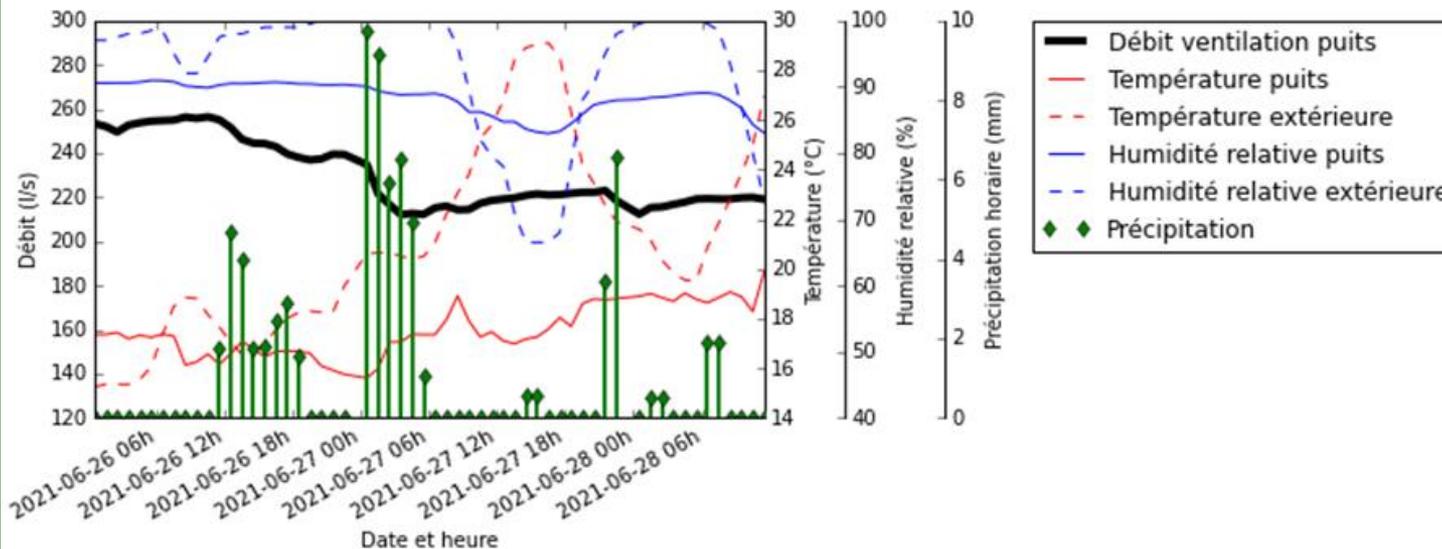
Résultats sur le conditionnement de l'air:

Débit d'air



- Le 26 juin 2021, des pluies intenses se sont abattues sur la ferme expérimentale de Deschambault.
 - Lors de cette journée, 74.1 mm de pluie sont tombés,
 - 54.7 mm supplémentaires ont été enregistrés le lendemain en avant-midi.
 - La somme totale des précipitations représente donc 128.8 mm en moins de 40 heures
- Cette énorme quantité d'eau tombée en un court laps de temps a un impact important sur le débit, soit deux diminutions consécutives d'environ 8%

Debit precipitation ambiance -- 2021-06-26 au 2021-06-28 12



Discussion sur le système d'aérogéothermie



- Très faible débit d'air (237 L/s):
 - Le choix des matériaux composant le puits de captation avait été fait en fonction de l'objectif principal du projet,
 - Valider l'efficacité du système d'aérogéothermie à filtrer l'air
 - Le choix de remblayer la tranchée avec du sable filtrant Q2-r22 avait été retenu pour maximiser les chances de réussite de cet objectif.
 - Les résultats du projet démontrent clairement que le sol filtre l'air.
 - Aucune contamination des porcelets exposés à l'air provenant du puits de captation où de l'air contaminé est concentré à sa surface n'a été répertoriée.

Discussion sur le système d'aérogéothermie



- Cependant, le choix de conception de la tranchée en sable filtrant a considérablement nui au débit de ventilation pouvant être aspiré du puits de captation.
 - Le sable filtrant est spécifiquement conçu pour éviter de se colmater
 - Il est normé pour s'assurer que le diamètre des grains de sable soit le plus homogène possible.
 - Ceci évite ainsi que les plus petits grains se placent entre les grains plus gros pour combler une partie des vides et nuire à l'écoulement de l'air.
 - Toutefois, le sable est extrêmement restrictif à l'écoulement de l'air.
 - Le ventilateur devait exercer d'énorme pression pour aspirer l'air du puits de captation.

Discussion sur le système d'aérogéothermie



- Pour pallier ce problème, il serait intéressant d'évaluer l'utilisation de matériaux plus poreux pour la conception du puits de captation.
 - Des matériaux comme de la pierre concassée lavée (exemple : $\frac{1}{2}$ " net, $\frac{3}{4}$ " net, 1" net, 2" net, etc.) qui, une fois en place, laisse des interstices beaucoup plus grands permettant de laisser passer plus facilement l'air jusqu'au puits de captation
 - Cependant, pour garder l'aspect de la filtration de l'air, il faudrait garder une certaine épaisseur de sable filtrant à l'intérieur de la tranchée.
 - De nouveaux essais (ou bien un banc d'essai, qui serait moins dispendieux) devraient être réalisés pour valider autant l'aspect filtration que l'efficacité de conditionnement de l'air. Dans ce nouveau puits de captation

Discussion sur le système d'aérogéothermie



- L'optimisation de la tranchée est une étape essentielle pour arriver à une utilisation de cette technologie dans les bâtiments porcins.
 - Actuellement, les débits de ventilation nécessaires lorsque de l'air extérieur est envoyé dans le bâtiment sont énormes par rapport à ce qui a été puisé grâce au prototype testé dans le cadre du projet.
 - À titre de comparaison, voici les débits minimum et maximum requis par animal selon le type de bâtiment
 - Le débit moyen puisé dans le système d'aérogéothermie est de 237L/s, ce qui est très loin des besoins dans les bâtiments moyens au Québec

Type de bâtiment	Débit recommandé par animal (L/s)		Nombre d'animaux /bâtiment (moyenne au Québec)	Besoin maximal en débit selon le type de bâtiment (L/s)
	Min	Max		
Maternité (gestation et mise-bas) (Truies de 150 à plus de 300 kg)	5	86	750	64 500
Pouponnière (Porcelets de 6 à 30 kg)	0,9	18	1000	18 000
Engraissement (Porcs de 30 à 135 kg)	2,1	42	1000	42 000

Discussion sur le système d'aérogéothermie



- Cependant, il serait possible de revoir à la baisse les besoins en débit maximal:
 - Utilisation de systèmes de refroidissement des animaux (ventilateur de recirculation en combinaison avec un système d'aspersion (gicleur ou goutte à goutte)) permettent de diminuer les besoins en débit maximal de façon très importante (environ 50% selon le type de bâtiment). (Pouliot et al 2012)
 - Selon les données de conditionnement de l'air du projet actuel:
 - Température maximale enregistrée dans le puits de captation a été de 27°C, et ce, pour une courte période
 - La Surface du puits de captation était en plus sans végétation
 - selon Williams et Gold (1977), la végétation permet de diminuer la température à la surface du sol
- À partir de ces considérations, il serait intéressant d'effectuer un bilan de masse pour chaque type de bâtiment pour déterminer les nouveaux besoins en débit de ventilation
- Cependant, avec les débits puisés actuellement, l'écart demeure trop important pour aller de l'avant avec le système actuel.

Discussion sur le système d'aérogéothermie



- Même si le système d'aérogéothermie est sensible au changement des conditions météorologiques, son utilisation dans le domaine porcin pourrait être envisagée une fois que la problématique des faibles débits puisés dans le sol serait réglée.
 - L'effet des précipitations, même si elles affectent un peu le débit (jusqu'à 8% de diminution), n'est pas une contrainte trop importante à son utilisation.
 - Dans les bâtiments conventionnels, de forts vents frappant directement dans les ventilateurs d'extraction ont parfois plus d'impact sur la baisse de débit que la baisse mesurée dans le cadre du projet
 - La fonte des neiges a un énorme impact sur le débit.
 - Si on compare le débit du mois de février (161 L/s) à la moyenne des 13 mois suivis (237 L/s), il s'agit d'une baisse de plus de 32%.
 - Heureusement, lors du mois de février, la température extérieure est encore fraîche, ce qui fait en sorte que l'air entrant dans le bâtiment est frais et que les besoins en ventilation ne sont pas au maximum.

Conclusions



- Il a été démontré que le système d'aérogéothermie permet de filtrer l'air et ainsi éviter la contamination des animaux au vSRRP.
- Ce système permet de conditionner l'air entrant dans les bâtiments en limitant les températures extrêmes, autant lors des canicules que lors des épisodes de froid extrême
 - Ceci est un avantage certain pour le confort et le bien-être des animaux.
- Le système d'aérogéothermie est dépendant des conditions météorologiques.
 - De faibles baisses de débit sont observées lors de précipitations très abondantes.
 - La fonte des neiges diminue de beaucoup le débit puisé dans le sol.
 - Cette diminution du débit arrive dans une période où les températures extérieures sont fraîches, engendrant un faible besoin de ventilation à ce moment.

Conclusions



- Cependant, pour être utilisable dans le milieu porcin, le puits de captation doit être optimisé dans l'optique de puiser un débit d'air beaucoup plus grand, et ce, tout en gardant son efficacité de filtration.
- Des travaux en ce sens devraient donc être réalisés avant d'aller de l'avant avec cette technologie.

MERCI!

sturcotte@cdpq.ca



CDPQ 

Centre de développement
du porc du Québec inc.