



Centre de développement  
du porc du Québec inc.

# Évaluation de l'aérogéothermie pour la filtration et le conditionnement de l'air

Fiche technique – Décembre 2021

Gabrielle Dumas, agr.

Sébastien Turcotte, agr.

Jean Gabriel Turgeon, B. Génie agroenvironnemental



# Évaluation de l'aérogéothermie pour la filtration et le conditionnement de l'air

La production porcine est aux prises avec plusieurs maladies se propageant via des aérosols, telles que le virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (SRRP). Il est démontré que la contamination entre les troupeaux est possible, et ce, même si la distance est importante. De plus, avec les changements climatiques, les épisodes de chaleurs extrêmes seront plus fréquents et d'une durée plus longue, affectant directement le confort et le bien-être des animaux.

## L'aérogéothermie, c'est quoi ?

L'aérogéothermie est une technologie permettant de capter l'air contenu dans les interstices du sol. Pour ce faire, des puits de captation spécifiquement conçus pour aspirer l'air du sol et le redistribuer via des conduites sont enfouis sous terre à proximité du bâtiment. Cette technologie, déjà existante au Québec, est utilisée depuis plus de cinq ans dans quelques résidences. Elle permet de réduire la facture énergétique, autant en été qu'en hiver. De façon similaire à un échangeur terre-air conventionnel (tel qu'un puits canadien), l'aérogéothermie permet d'utiliser l'inertie thermique du sol pour conditionner l'air utilisé pour la ventilation de l'élevage. Toutefois, alors que dans un échangeur terre-air conventionnel, l'air est puisé à l'extérieur et circule dans une conduite enfouie, le puits de captation du système d'aérogéothermie permet d'aller tirer directement l'air présent dans le sol.

## Projet de recherche réalisé à la Station expérimentale de Deschambault du CDPQ

De 2019 à 2021, le CDPQ a réalisé un projet visant à évaluer l'efficacité du système d'aérogéothermie à filtrer et conditionner l'air entrant dans une quarantaine annexée à la Station d'évaluation des porcs de Deschambault.

Pour ce faire, une tranchée d'une longueur de 60', d'une largeur de 16' et d'une profondeur de 8' a été excavée afin d'y ensevelir un puits de captation du système d'aérogéothermie. Avant le remblaiement avec du sable filtrant, plusieurs sondes de température et de pression ont été installées dans le puits et autour de celui-ci afin de caractériser le fonctionnement du système. Un ventilateur de 5 forces permettait d'aspirer l'air du puits de captation et de le redistribuer dans une conduite qui acheminait l'air jusqu'à la quarantaine.



**Aperçu du dispositif expérimental du projet**

## Bio-essais pour l'évaluation de la filtration de l'air

Le projet de recherche a profité d'un autre projet en cours à la Station de Deschambault sur la résilience aux maladies selon le génome des animaux (financé par PigGen Canada). Dans ce projet, un modèle d'infection naturelle des porcelets a été mis en place. Pour ce faire, 60 porcelets sains (naïfs aux différentes maladies) étaient introduits dans la section quarantaine de la station, et ce, à toutes les trois semaines. Les porcelets séjournaient 19 jours dans cette section, qui était sous air filtré et ventilé en pression positive. Par la suite, les porcelets naïfs étaient transférés dans la pouponnière, où séjournaient 60 autres porcelets porteurs de différents agents pathogènes, dont des agents infectieux à dispersion aérosol (vSRRP et *Mycoplasma hyopneumoniae* entre autres). Ces derniers se contaminaient donc naturellement aux maladies présentes.

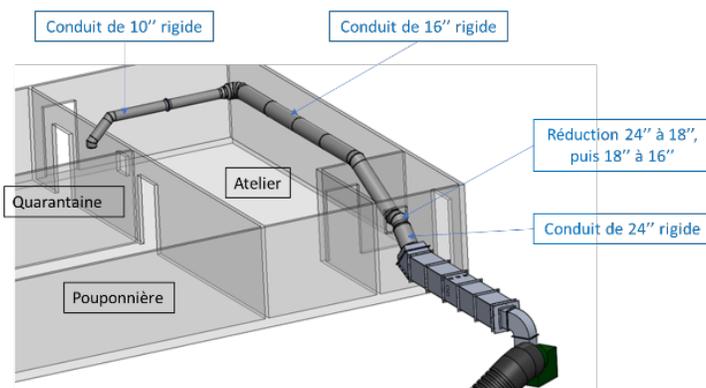
Comme il est très difficile et coûteux de détecter directement le SRRP dans l'air, une approche par bio-essais fut privilégiée dans le cadre du projet. Ainsi, des porcelets sains furent exposés à de l'air vicié ou filtré, dépendamment des essais, et le statut sanitaire des porcelets était validé après l'exposition.

Dans un premier temps, afin de valider que l'air provenant de la ferme du CDPQ contenait bien des aérosols porteurs de vSRRP, des porcelets sains furent logés dans une cage à l'extérieur de la ferme, vis-à-vis un ventilateur d'extraction de la pouponnière où séjournaient des porcelets contaminés au vSRRP. Un abri auto recouvrait la cage dans le but de les protéger des intempéries et de concentrer les aérosols dans leur environnement. 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. Il fut observé que les trois lots de porcelets qui ont été exposés à l'air de la pouponnière ont été contaminés par vSRRP. De ces résultats, il était donc possible de conclure que l'air sortant de la pouponnière contaminée contenait du vSRRP et que les pathogènes étaient en concentration suffisante pour contaminer les porcelets naïfs. Cette étape était essentielle pour la suite du projet qui consistait à valider l'efficacité du système d'aérogéothermie à filtrer l'air.

Le système d'aérogéothermie, dont le puits de captation est situé en dessous de l'abri auto qui concentrait l'air contaminé, a ainsi été mis en fonction. L'air puisé était envoyé dans la quarantaine où logeaient des animaux sains. Le statut sanitaire des animaux était évalué au début et à la fin de leur séjour de 19 jours dans la salle d'élevage. Durant toute la durée du projet, aucune contamination de porcelet au vSRRP n'a été répertoriée dans la quarantaine.



Quarantaine extérieure où les porcelets étaient logés



Conduite connectant la quarantaine à la sortie d'air du puits de captation

## Conditionnement de l'air

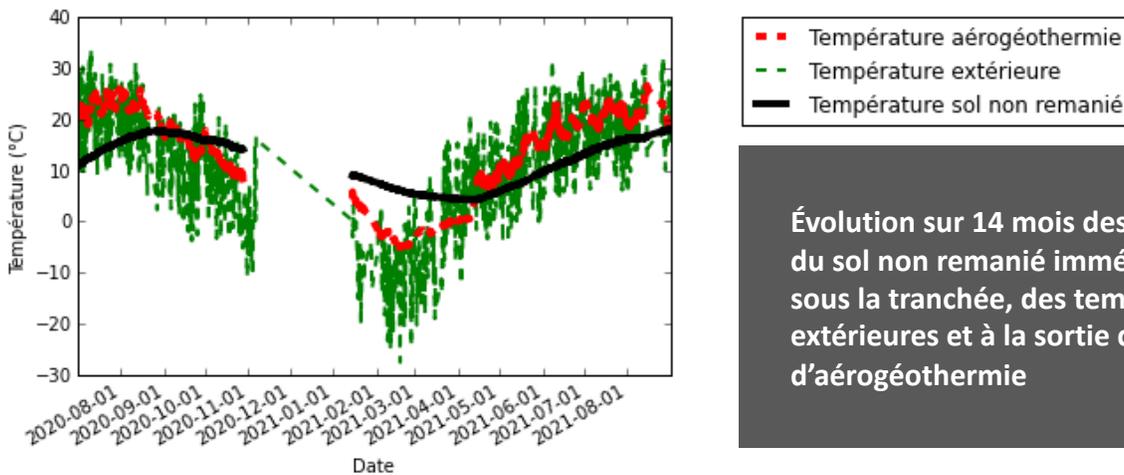
### - Température

Dans le système d'aérogéothermie, le sol agit comme « stabilisateur » de la température de l'air puisé en raison de son inertie thermique. En effet, 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.

### Température moyenne mensuelle de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie comparativement à la température moyenne extérieure

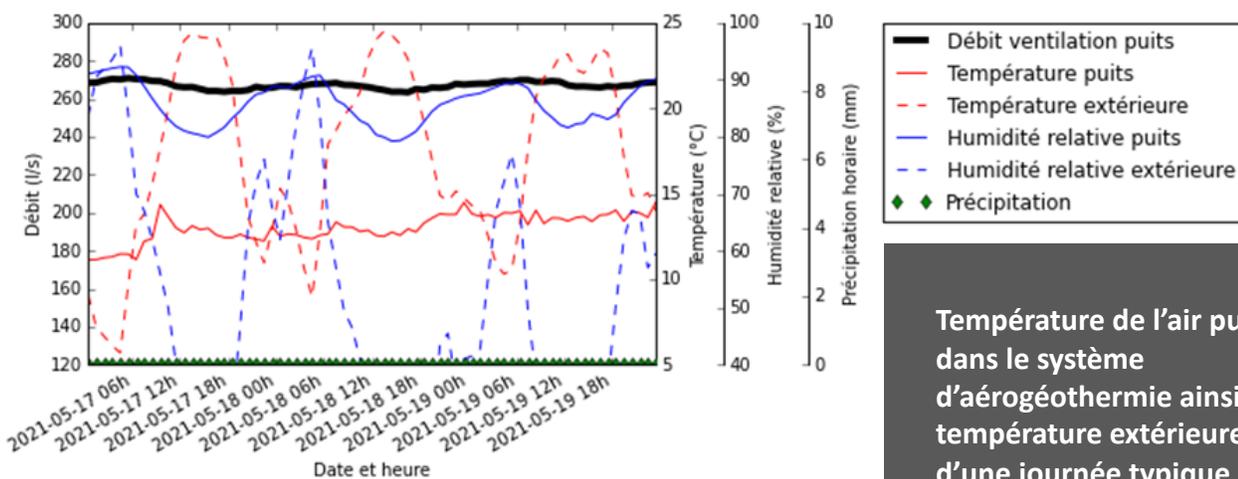
Mois	Température moyenne mensuelle aérogéothermie (°C)	Température min/max aérogéothermie durant le mois (°C)	Température moyenne mensuelle extérieure (°C)	Température min/max extérieur e durant le mois (°C)	Moyenne mensuelle des écarts quotidiens entre la température extérieure et la température aérogéothermie	
					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

L'effet de l'inertie thermique du sol est plus marqué lors du changement des saisons. En effet, 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. La Figure ci-dessous présente l'évolution sur 14 mois des températures du sol non remanié immédiatement sous la tranchée, des températures extérieures et à la sortie du système d'aérogéothermie. Cependant, lorsque l'on regarde l'effet journalier du système d'aérogéothermie sur la température de l'air puisé dans le sol, il est possible de constater que l'air puisé subit beaucoup moins de variations de température que la température extérieure.



Évolution sur 14 mois des températures du sol non remanié immédiatement sous la tranchée, des températures extérieures et à la sortie du système d'aérogéothermie

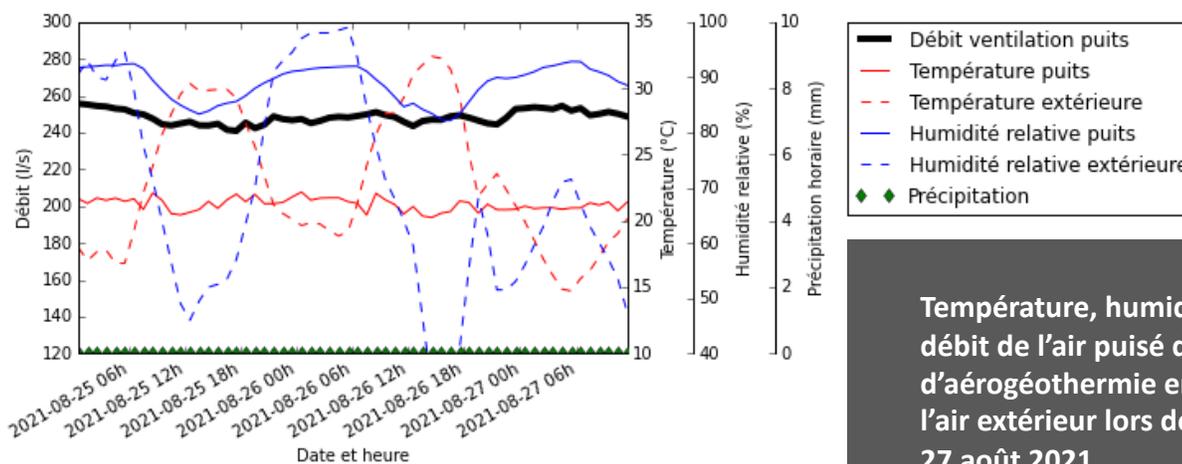
Lorsque l'on regarde l'effet journalier du système d'aérogéothermie sur la température de l'air puisé dans le sol est observé, il est possible de constater que l'air puisé subit beaucoup moins de variations de température que la température extérieure. La Figure 5 montre des journées typiques du mois de mai. La température extérieure varie beaucoup entre la nuit et le jour (variation de 5 à 24 °C) tandis que la température de l'air du système d'aérogéothermie est presque stable (entre 13 et 14 °C).



Température de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie ainsi que température extérieure lors d'une journée typique

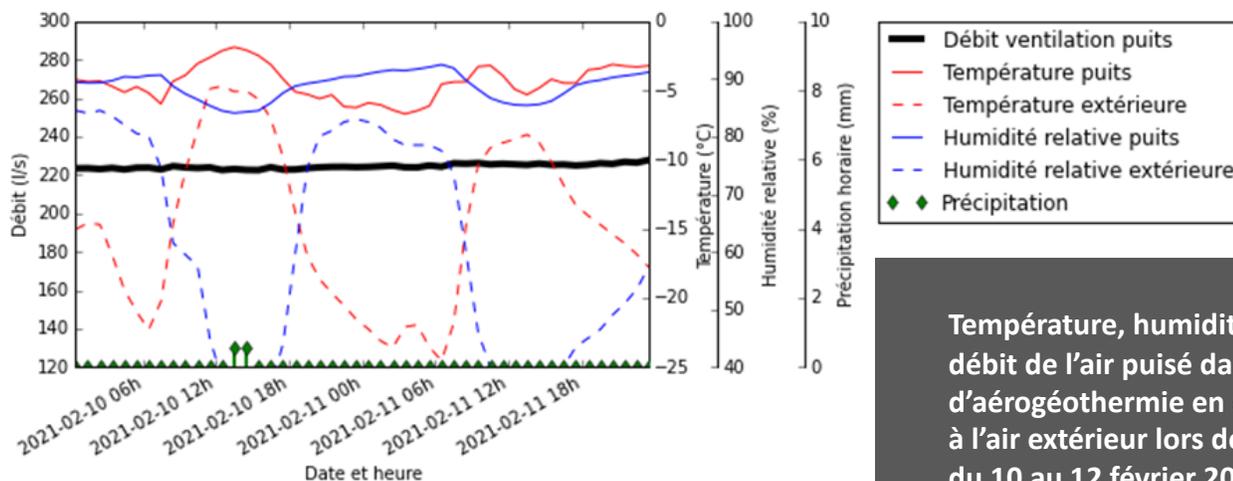
Aussi, l'effet stabilisateur est plus important lorsque les conditions météorologiques sont extrêmes comme lors d'une canicule ou de grands froids. Comme le démontre la Figure 6 qui présente les conditions mesurées lors de la canicule du 25 au 27 août 2021, le système d'aérogéothermie a permis de diminuer de plus de 12°C la température de l'air envoyé dans le bâtiment par rapport à l'air extérieur. Son utilisation en ferme pourrait ainsi avoir un impact positif sur le bien-être animal et sur les performances zootechniques des animaux et permettant de les garder dans leur zone de neutralité thermique.

Debit precipitation ambiance -- 2021-08-25 au 2021-08-27 12



Température, humidité relative et débit de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie en comparaison à l'air extérieur lors de la canicule 25 au 27 août 2021.

L'effet stabilisateur et de réchauffement est présenté à la Figure 7. Lors d'une période froide (du 10 au 12 février 2021), l'air provenant du système était près de 20°C plus chaud que l'air extérieur. Des économies sur le coût de chauffage avec l'utilisation de ce système seraient à prévoir.



Température, humidité relative et débit de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie en comparaison à l'air extérieur lors de grand froid du 10 au 12 février 2021.

**- Humidité :**

Les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air puisé dans le puits de captation avoisinent 90 % tout au long de l'année et sont en moyenne plus élevées que l'humidité relative moyenne mensuelle extérieure (Tableau 2). Il est également observé que généralement le ratio d'humidité de l'air, correspondant à la masse d'eau contenue par kg d'air sec, tend à augmenter. Bien que la tranchée du puits soit drainée, le sable accumule tout de même de l'eau, notamment lors de précipitations. Cette eau est alors récupérée par l'air extérieur s'infiltrant dans le sol et s'humidifie, augmentant ainsi l'humidité à ce moment. Il est envisageable que si le débit d'air augmente, que l'augmentation moyenne du ratio d'humidité soit diminuée, car la masse d'eau résiduelle dans la tranchée serait diluée sur une plus grande masse d'air.

L'augmentation de l'humidité relative peut également s'expliquer en partie par le refroidissement 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. 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. Ce refroidissement de l'air augmente donc l'humidité relative.

**Humidité relative moyenne mensuelle de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie en comparaison de l'humidité relative moyenne mensuelle extérieure**

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]	ND	9±2	ND	ND
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 %

### - Débit d'air puisé

Le débit d'air puisé dans le système d'aérogéothermie a été mesuré en continu et les débits moyens mensuels sont présentés au Tableau 10. Le débit moyen mensuel est relativement stable durant toute l'année (227-257 L/s) sauf pour les mois de février (219 L/s) et de mars (161 L/s), où des baisses importantes sont mesurées (Tableau 3). 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 extérieur. De plus, lors de l'analyse des sondes des pressions moyennes mensuelles au niveau de la surface du sol (sondes enfouies à 40 cm de la surface), les mois de février et de mars ont également les pressions les plus négatives.

**Débit d'air moyen mensuel puisé dans le puits de captation et pression moyenne mensuelle dans le puits de captation ainsi que dans le sol**

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 puits aérogéothermie durant le mois (Pa)	Pression moyenne mensuelle à la surface (Pa)	Pression min/max à la surface durant le mois (Pa)
<b>Juillet 2020</b>	251±51	[209;271]	-583±50	[-718;-564]	-101±16	[-168;-81]
<b>Août 2020</b>	227±54	[194;246]	-581±56	[-794;-557]	-91±19	[-196;-74]
<b>Septembre 2020</b>	248±34	[208;269]	-587±51	[-733;-571]	-94±20	[-162;-79]
<b>Octobre 2020</b>	242±38	[207;261]	-603±63	[-893;-538]	-100±23	[-184;-82]
<b>Novembre 2020</b>	257±31	[247;263]	-642±56	[-801;-590]	-162±32	[-220;-110]
<b>Janvier 2021</b>	232±28	[219;239]	-674±51	[-729;-638]	-264±49	[-292;-246]
<b>Février 2021</b>	219±27	[202;229]	-711±55	[-782;-682]	-281±53	[-336;-256]
<b>Mars 2021</b>	161±24	[128;200]	-743±66	[-947;-701]	-460±65	[-616;-234]
<b>Avril 2021</b>	243±52	[167;284]	-691±56	[-793;-650]	-151±24	[-241;-124]
<b>Mai 2021</b>	267±37	[237;277]	-664±66	[-949;-625]	-145±22	[-233;-105]
<b>Juin 2021</b>	248±39	[207;270]	-620±66	[-937;-598]	-104±22	[-170;-83]
<b>Juillet 2021</b>	237±43	[218;255]	-618±68	[-966;-599]	-95±22	[-185;-81]
<b>Août 2021</b>	251±31	[234;262]	-616±60	[-852;-597]	-99±22	[-157;-82]

Il est intéressant de constater que les pressions moyennes mensuelles de surface sont très stables pour les mois d'été (juin à octobre) et sont plus négatives entre le mois de novembre et mai. Tel que mentionné précédemment, une pression plus négative est un indicateur de restrictions pour aspirer l'air. Il est pensable que cette restriction soit causée par une saturation du sol en eau, un gel ou que la couverture de neige impacte les pressions dans le sol.

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 de débit d'air puisé dans le puits de captation du système d'aérogéothermie.

Le sable est très restrictif à l'écoulement de l'air et bien que la tranchée eût une surface de 960 pi<sup>2</sup> et que la pression d'opération du puits de captation était importante, seulement un très faible débit d'air a pu être puisé dans le sol par le système d'aérogéothermie testé, soit une moyenne de 502 CFM. Une optimisation du puits de captation avec des matériaux plus poreux, comme de la pierre concassée nette, pourrait probablement augmenter les débits d'air puisés. Cependant, une certaine épaisseur de sable filtrant devrait être conservée pour conserver l'aspect de la filtration de l'air du système. Il est possible que les performances de refroidissement et de réchauffement de l'air soient aussi affectées si le débit de ventilation augmente.

### **Impact des précipitations sur le débit du système d'aérogéothermie**

L'impact des précipitations sur les débits d'air puisés par le système d'aérogéothermie a été analysé. Entre mai et septembre 2021, 47 événements de précipitation ont eu lieu. Ceux-ci ont été classés selon l'intensité (le nombre de mm d'eau reçu au sol). Un événement de précipitation prenait fin s'il y avait plus de 12 h consécutives sans précipitations additionnelles. Ces données sur l'intensité proviennent de la station météo d'environnement Canada située à Deschambault.

De légères diminutions temporaires du débit ont été observées ponctuellement en fonction des quantités de précipitations tombées. Le système n'est pas affecté s'il tombe moins de 2 mm de pluie. Des diminutions temporaires de 2,1 %, 3,7 % et 8,3 % du débit ont été observées lorsqu'il est tombé entre 2 à 20 mm, 21 à 30 mm et plus de 30 mm respectivement.

*(Voir tableau page suivante)*

## Impact des précipitations sur le débit d'air puisé en lien avec la quantité de précipitations reçues

Nombre d'évènements	Intensité de la pluie (mm)	Diminution moyenne du débit du système d'aérogéothermie dans les 12 heures suivant la fin de la pluie (%)	Augmentation du ratio d'humidité entre l'air extérieur et l'air puisé dans l'heure précédent la pluie (%)	Augmentation moyenne du ratio d'humidité entre l'air extérieur et l'air puisé dans les heures suivant la fin de la pluie (%)
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 %

### Conclusion

En conclusion, il fut observé que les porcelets isolés en quarantaine dont l'air de ventilation provenait du système d'aérogéothermie n'ont pas été contaminés au vSRRP. De plus, ce système permet de conditionner l'air entrant dans les bâtiments en limitant les températures extrêmes, autant lors de canicules que lors des épisodes de froid extrême. Cependant, avant de pouvoir installer cette technologie sur les fermes porcines, le puits de captation doit être optimisé afin de puiser un débit d'air beaucoup plus élevé, tout en gardant un potentiel de filtration de l'air.



Centre de développement  
du porc du Québec inc.

# Remerciements

Ce projet a été financé par l'entremise du programme Innov'action Agroalimentaire, en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec.

Nous tenons à remercier également Aérogéothermik, Les Éleveurs de porcs du Québec et le CDPO pour leur contribution à ce projet.

 PARTENARIAT  
CANADIEN pour  
L'AGRICULTURE

Canada Québec 

PROGRAMME  
**INNOV'  
ACTION**  
AGROALIMENTAIRE

 AeroGeothermik®

**CDPO** 

Les Éleveurs   
de porcs du Québec

**CDPO** 

Centre de développement  
du porc du Québec inc.