

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

Septembre 2021

Rapport final



Auteurs

Sébastien Turcotte, responsable bâtiments et régie d'élevage

Jean Gabriel Turgeon, chargé de projets

Gabrielle Dumas, chargée de projets

Patrick Gagnon, responsable analyse et valorisation des données

©Centre de développement du porc du Québec inc.
Dépôt légal 2021
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-924413-99-9

Équipe de réalisation

Répondant	Sébastien Turcotte, agr., responsable bâtiments et régie d'élevage, CDPQ
Direction scientifique	Sébastien Turcotte, agr., responsable bâtiments et régie d'élevage, CDPQ
Chargé(es) de projet	Jean Gabriel Turgeon, chargé de projets, CDPQ Gabrielle Dumas, agr., chargée de projets, CDPQ
Collaborateurs	Patrick Gagnon, Ph. D., responsable analyse et valorisation des données, CDPQ Léonie Morin Doré, M.Sc., agr., chargée de projets et responsable – Station d'évaluation de Deschambault, CDPQ Sophie Mayrand, ouvrière agricole, CDPQ Sylvain Paquin, ouvrier agricole, CDPQ Louis Moffet, ouvrier agricole, CDPQ
Rédaction	Sébastien Turcotte, agr., responsable bâtiments et régie d'élevage, CDPQ Jean Gabriel Turgeon, chargé de projets, CDPQ Patrick Gagnon, Ph. D., responsable analyse et valorisation des données, CDPQ

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada. Nous tenons à remercier également Aérogéothermik, Les Éleveurs de porcs du Québec et le CDPQ pour leur contribution à ce projet.



Résumé

La production porcine est aux prises avec plusieurs maladies se propageant via des aérosols, telles que le virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcin (vSRRP). 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 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'aspirer directement l'air présent dans le sol.

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.

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, permettant de conclure que le système d'aérogéothermie filtre efficacement l'air.

Conditionnement de l'air

Au niveau du conditionnement de l'air, l'instrumentation installée a permis l'enregistrement continu des conditions de l'air puisé dans le sol par le système d'aérogéothermie et la comparaison avec les conditions climatiques entre juillet 2020 à août 2021.

L'objectif principal du projet étant d'étudier l'efficacité du système d'aérogéothermie à filtrer l'air dans une optique de biosécurité, du sable filtrant fut utilisé pour remplir la tranchée du puits de captation. Le sable est très restrictif à l'écoulement de l'air et bien que la tranchée ait une surface de 960 pi² 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.

Bien que le système soit exposé aux conditions climatiques, entre juillet 2020 et septembre 2021, il fut observé que le débit d'air puisé par le système était relativement stable, sauf pour la période de la fonte des neiges où une diminution importante du débit a été observée (32 %). Aussi, 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.

Le système d'aérogéothermie conditionne l'air sur une base saisonnière et stabilise quotidiennement la température de l'air puisé en raison de l'inertie thermique du sable de la tranchée et du sol. L'effet stabilisateur de l'aérogéothermie est encore plus important lorsque les conditions météorologiques sont extrêmes. Par exemple, lors de la canicule du 25 au 27 août 2021, l'air provenant du système d'aérogéothermie avait une température d'environ 21°C, tandis que la température extérieure avait oscillé entre 17°C la nuit et 33°C à la fin de la deuxième journée. Dans cet exemple, le système d'aérogéothermie a permis de diminuer de 12°C la température de l'air envoyé dans le bâtiment par rapport à l'air extérieur. L'évitement des pics de chaleur extrême aura certainement un impact positif sur le bien-être animal et sur les

performances zootechniques des animaux. À l'automne, les conditions météorologiques se refroidissent plus rapidement que le sol en profondeur, de sorte que le phénomène de réchauffement gagne en importance par rapport à la stabilisation de la température. L'effet stabilisateur et de réchauffement peut être également plus important lors de grand froid. Dans cet exemple, le système d'aérogéothermie a permis de réchauffer l'air entrant de près de 20°C par rapport à l'air extérieur. Des économies sur le coût de chauffage avec l'utilisation de ce système sont envisageables. Au printemps, le sol est froid alors que les conditions météorologiques se réchauffent, de sorte que le refroidissement de l'air prédomine à cette saison.

L'humidité relative moyenne mensuelle de l'air puisé dans le sol avoisine 90 %, ce qui est souvent supérieur à l'humidité relative observée dans les données météorologiques. La tranchée du puits est drainée, mais le sable accumule tout de même de l'eau, lors de précipitations par exemple, qui sera ensuite récupérée par l'air extérieur s'infiltrant dans le sol. Aussi, lorsque la tranchée est sèche, la mesure de l'humidité relative peut augmenter à cause du refroidissement de l'air, qui possède alors une capacité inférieure à contenir l'humidité. Il est effectivement observé qu'à certains moments le ratio d'humidité (rapport entre la masse de vapeur d'eau et la masse d'air) n'est pas augmenté par le conditionnement de l'air.

Pour conclure, il fut observé que le système d'aérogéothermie permet de filtrer l'air et ainsi éviter la contamination des animaux 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 son efficacité de filtration.

Table des matières

1	Mise en contexte	1
2	Revue de littérature	2
2.1	Filtration de l'air	2
2.2	Conditionnement de l'air	3
2.3	Filtration et conditionnement de l'air	4
3	Objectifs du projet	5
4	Matériel et méthodes	6
4.1	Déroulement du projet	6
4.2	Prototype du puits de captation	8
4.3	Bio-essais extérieurs	12
4.4	Puits de captation et système d'aérogéothermie	14
4.5	Bio-essais intérieurs	23
5	Résultats	26
5.1	Résultats des essais réalisés avec le prototype	26
5.2	Résultats des bio-essais extérieurs	35
5.3	Résultats sur les bio-essais intérieurs	35
5.4	Résultat sur le conditionnement de l'air du système d'aérogéothermie	36
6	Discussion sur le système d'aérogéothermie	45
6.1	Filtration de l'air et biosécurité	45
6.2	Débit d'air extrait et conditionnement	45
7	Conclusion	47
8	Références	48
	Annexe 1	I
	Annexe 2	VI

Liste des tableaux

Tableau 1	Étapes effectuées pour la réalisation du projet	7
Tableau 2	Différents capteurs présents dans le prototype	10
Tableau 3	Numération de particules à différents endroits à l'aide d'un compteur Fluke 985	30
Tableau 4	Compte de particules à la sortie du tunnel du ventilateur au cours de la génération de poussières	31
Tableau 5	Différentiel de pression à l'iris et débit d'air en fonction de la vitesse du ventilateur.....	32
Tableau 6	Pression statique mesurée aux points de surface selon l'ajustement du ventilateur et la présence du couvert végétal.....	33
Tableau 7	Lots exposés à l'air provenant du système d'aérogéothermie lors des bio-essais intérieurs.....	36
Tableau 8	Température moyenne mensuelle de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie comparativement à la température moyenne extérieure.....	37
Tableau 9	Humidité relative moyenne mensuelle de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie en comparaison de l'humidité relative moyenne mensuelle extérieure	41
Tableau 10	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.....	42
Tableau 11	Impact des précipitations sur le débit d'air puisé en lien avec la quantité de précipitation reçue	43
Tableau 12	Débit recommandé selon le type de bâtiment et nombre d'animaux dans un bâtiment type au Québec.....	46

Liste des figures

Figure 1	Photo et plan de la pouponnière de la Station d'évaluation des porcs de Deschambault	6
Figure 2	Identification des composantes du prototype	8
Figure 3	Vue des installations lors de la réalisation des simulations	9
Figure 4	Vue de l'intérieur de la section inférieure du prototype avant et après le remplissage avec le sable	9
Figure 5	Identification des capteurs utilisés pour l'instrumentation du prototype	10
Figure 6	Iris 4 po à un ajustement de 3.....	11
Figure 7	Logement des porcelets dans la cage et remorque utilisée au cours des bio-essais extérieurs.....	12
Figure 8	Abri auto et sortie du ventilateur d'extraction dans la conduite en bois	13
Figure 9	Capture d'image de la surveillance vidéo et instrumentation de l'abri auto	13
Figure 10	Reproduction de la tranchée de sable (rectangle couleur pêche), des deux abris autos (rectangles gris) et des sections d'instrumentation (points noirs) à la Station de Deschambault	14
Figure 11	Jonction entre la sortie du puits et le ventilateur pompant l'air. Aperçu de la conduite avant la pose de l'isolation	15
Figure 12	Schéma de l'aménagement du raccordement de la conduite et du puits de captation.....	15
Figure 13	Schéma de la conduite de raccordement extérieure	16
Figure 14	Photos de la conduite de raccordement extérieure avant l'isolation avec des panneaux rigides	16
Figure 15	Schéma général des installations de la conduite de raccordement du système d'aérogéothermie	17
Figure 16	Conduite de raccordement dans l'entretoit avant et suivant la pose de l'isolant	17
Figure 17	Position des sondes de température dans le puits de captation et autour de celui-ci	18
Figure 18	Emplacement des sections d'instrumentation dans la tranchée et localisation des sondes de température sur chaque section	18
Figure 19	Section d'instrumentation, sol non remanié et sonde de température	19

Figure 20	Panneau de contrôle des sondes de température (étage inférieur et supérieur)	19
Figure 21	Position des sondes de pression et exemple des positionnements des sondes de température et pression dans le sol.....	20
Figure 22	Panneau d'acquisition des données de pression	20
Figure 23	Instrumentation de la conduite de raccordement extérieure avec deux sondes de température et deux sondes d'humidité.....	21
Figure 24	Instrumentation de la conduite de raccordement extérieure pour le différentiel de pression à la tuyère	21
Figure 25	Instrumentation de l'iris avec une sonde de différentiel de pression.....	22
Figure 26	Instrumentation de l'entretoit avec une sonde de température.....	22
Figure 27	Système d'acquisition de données de la quarantaine	23
Figure 28	Quarantaine (exempte de vSRRP) où se sont déroulé les bio-essais intérieurs	24
Figure 29	Entrées d'air dans la quarantaine	24
Figure 30	Abri auto visant de concentrer l'air au-dessus de la tranchée du puits de captation.....	25
Figure 31	Plan 3D des points de mesure.....	26
Figure 32	Variation de pression dans le sol du prototype sur le plan horizontal selon la vitesse d'air du ventilateur	27
Figure 33	Variation de pression dans le sol du prototype sur le plan vertical selon la vitesse d'air du ventilateur	28
Figure 34	Vue des installations lors de la réalisation de la phase 2	29
Figure 35	Positionnement du compteur de particules (Fluke 985)	29
Figure 36	Vue de l'intérieur de la chambre de mélange au cours de la génération de poussières via la fenêtre d'observation.....	30
Figure 37	Évolution du débit d'air à la sortie et de la pression moyenne sur le plan horizontal au cours de la génération de poussières dans la chambre de mélange	31
Figure 38	Vue des installations durant les tests avec le couvert végétal.....	32
Figure 39	Vue des installations lors de la simulation des précipitations	34
Figure 40	Débit d'air dans la conduite lors de la simulation des précipitations	34

Figure 41	Humidité extérieure et effet de la simulation des précipitations sur l'humidité dans la conduite	35
Figure 42	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.....	38
Figure 43	Température de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie ainsi que température extérieure lors d'une journée typique	38
Figure 44	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	39
Figure 45	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.....	40
Figure 46	Impact d'une forte précipitation sur le débit et effet résiduel de cet événement.....	44
Figure 47	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de juillet 2020	I
Figure 48	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois d'août 2020	I
Figure 49	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de septembre 2020	II
Figure 50	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois d'octobre 2020.....	II
Figure 51	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de novembre 2020	II
Figure 52	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de janvier 2021.....	III
Figure 53	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de février 2021	III

Figure 54	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de mars 2021	III
Figure 55	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois d'avril 2021	IV
Figure 56	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de mai 2021	IV
Figure 57	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de juin 2021.....	IV
Figure 58	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de juillet 2021	V
Figure 59	Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois d'août 2021	V
Figure 60	Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de juillet 2020	VI
Figure 61	Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois d'août 2020	VI
Figure 62	Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de septembre 2020	VII
Figure 63	Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois d'octobre 2020	VII
Figure 64	Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de novembre 2020	VII
Figure 65	Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la	

	tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de janvier 2021	VIII
Figure 66	Pression d’opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de février 2021	VIII
Figure 67	Pression d’opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de mars 2021	VIII
Figure 68	Pression d’opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois d’avril 2021	IX
Figure 69	Pression d’opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de mai 2021	IX
Figure 70	Pression d’opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de juin 2021	IX
Figure 71	Pression d’opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de juillet 2021	X
Figure 72	Pression d’opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois d’août 2021	X

1 Mise en contexte

La production porcine est touchée par plusieurs maladies se propageant par aérosols. La contamination est possible entre les troupeaux, même si la distance est importante. Il existe donc un besoin important de protéger les élevages afin de limiter les éclosions. De plus, avec les changements climatiques, la fréquence des épisodes de chaleurs extrêmes ne peut qu'augmenter, affectant le confort des animaux.

La technique de ventilation par aérogéothermie est une nouvelle approche présentant le potentiel de répondre à ces besoins du secteur porcine, soit la filtration et le conditionnement de l'air avant son entrée dans les bâtiments d'élevage. Il s'agit d'une technologie permettant de capter l'air contenu dans les interstices du sol.

Pour évaluer le potentiel de la technologie d'aérogéothermie à protéger un élevage porcine d'une contamination par voie aérienne ainsi que mesurer son efficacité à conditionner l'air, une tranchée a été excavée à la Station d'évaluation des porcs de Deschambault. Un puits de captation y a été installé à proximité du bâtiment, puis remblayé avec du sable filtrant.

Par la suite, l'air provenant d'une pouponnière contaminée par différentes maladies se propageant par aérosols, dont le virus du syndrome respiratoire et reproducteur porcine (vSRRP), a été concentré au-dessus d'un puits de captation du système d'aérogéothermie. L'air puisé était ensuite acheminé dans la quarantaine où étaient logés des porcelets sains. Le statut sanitaire des animaux sains a été évalué au début et à la fin de leur séjour afin d'évaluer l'efficacité du système à filtrer l'air.

Le puits de captation et les installations étaient instrumentés de façon à procéder à l'enregistrement continu des conditions climatiques et des conditions de l'air puisé dans le sol par le système d'aérogéothermie.

2 Revue de littérature

2.1 Filtration de l'air

La propagation de pathogènes par voie aérienne est l'une des sources de contamination possible entre les élevages. Par exemple, le virus du SRRP (vSRRP) et *Mycoplasma hyopneumoniae* (M. hyo) peuvent être transmis par l'air sur une distance de 9,2 km (Dee *et al.*, 2009). Différentes mesures de biosécurités doivent donc être mises en place afin de limiter la propagation d'agents infectieux. Les deux concepts généraux de la biosécurité sont le bioconfinement, consistant à éviter la propagation des pathogènes hors d'un bâtiment afin de protéger les élevages voisins, et la bioexclusion, visant à réduire les risques d'introduction d'agents pathogènes dans un élevage (Ricard *et al.*, 2013).

L'efficacité de la filtration de l'air entrant comme technique de bioexclusion dans le but de réduire la contamination par voie aérienne des porcs à certaines maladies infectieuses a déjà été évaluée sur le terrain. Dans une étude de Dee *et al.* (2011), des porcelets sains étaient exposés pour des périodes de 2 à 4 semaines à des bioaérosols provenant de porcelets positifs au vSRRP ou à M. hyo et situés dans un autre bâtiment à 120 m de distance. Les porcelets du bâtiment témoin, non filtré, ont été contaminés 28 fois sur 65 au vSRRP et 17 fois sur 39 au M. hyo. Par contre, dans les bâtiments filtrés, les porcelets n'ont jamais été contaminés. Parmi les filtres utilisés, il était possible de retrouver des filtres mécaniques MERV 16 et 14, ainsi que des filtres antimicrobiens.

En élevage commercial, la combinaison de mesures de biosécurité et de la filtration de l'air dans des maternités ventilées en pression négative (air aspiré dans le bâtiment) a permis à Alonso *et al.* (2013) de réduire les crises de SRRP entre 0,06 et 0,22 par an, contrairement à 0,75 crise par année en l'absence de mesures. Pour le Québec, Pouliot *et al.* (2011) ont réalisé un guide technique pour l'installation de système de filtration sur les élevages porcins québécois. Klopfenstein (2016) rapportait qu'il n'y a eu aucune contamination au SRRP par voie aérienne pour les huit élevages disposant d'une filtration de l'air en pression positive (air poussé dans le bâtiment). Ces élevages sont des sites de sélection, de multiplication et de centre d'insémination artificielle (CIA) et étaient alors filtrés depuis plus de sept ans.

Depuis 5,4 ans dans les élevages commerciaux, sur 13 sites dotés de systèmes de filtration en pression négative, seulement cinq sites n'ont eu aucune contamination au SRRP par voie aérienne. Quatre sites ont subi une contamination aux trois ans et quatre sites ont connu une contamination aux deux ans et moins où l'introduction au SRRP par voie aérienne est suspectée.

La technique consistant à utiliser le sol pour effectuer de la biofiltration, et ainsi traiter l'air provenant du secteur industriel, fut développée en Allemagne. Celle-ci est utilisée depuis les années 1950, notamment pour contrôler les gaz à la source d'odeurs nauséabondes (Leson et Winer, 2012). Le concept consiste à diffuser l'air vicié par des conduites perforées et enterrées. Les aérosols et les polluants sous forme gazeuse adhèrent alors aux particules du sol, puis sont soit absorbés et dissous par le sol, soit digérés par les

microorganismes. Selon les applications, du compost est aussi utilisé, notamment par l'ajout d'une couche de compost au-dessus du biofiltre. Pour les applications dans le secteur industriel, il s'agit d'une technologie nécessitant un capital ainsi que des coûts opérationnels et énergétiques plus faibles que les équipements conventionnels (Nelson et Bohn, 2011). Mathsen (2004) explique que l'uniformité de la dispersion de l'air est critique pour assurer l'optimisation du fonctionnement d'un biofiltre.

2.2 Conditionnement de l'air

Vitt *et al.* (2017) expliquent que la fréquence des épisodes climatiques extrêmes tendra à augmenter dans les prochaines années en raison des changements climatiques. Outre le fait de compromettre le bien-être des animaux, les stress thermiques ont des impacts sur les performances tels que le GMQ, la conversion alimentaire et la mortalité. Ainsi, de nombreuses pertes économiques pour les éleveurs y sont liées. Il est donc nécessaire de mettre en place des techniques permettant le conditionnement de l'air.

Les échangeurs de chaleur sol-air font partie des techniques pouvant être mises en place dans le secteur agricole pour le conditionnement de l'air. Vitt *et al.* (2017) ont observé que les échangeurs de chaleur sol-air, consistant à aspirer l'air de la surface puis à l'acheminer dans un réseau de conduites enterrées, permettent de refroidir l'air de façon plus efficace que les murs de refroidissement par évaporation (*cooling pads*) avant que l'air pénètre dans la salle d'élevage. Ils mentionnent également qu'un avantage important des échangeurs sol-air est leur utilisation possible durant l'année complète. Les échangeurs sol-air permettent de réduire les fluctuations de température à court terme. Ils diminuent également la température de l'air en été et augmentent la température de l'air en hiver. Cela permet ainsi l'utilisation d'un meilleur débit de ventilation durant la période hivernale, assurant une meilleure qualité de l'ambiance intérieure.

Bisoniya *et al.* (2014) ont travaillé sur une revue des modèles de calculs des échangeurs de chaleur sol-air, mentionnant les principaux paramètres à considérer dans le dimensionnement des systèmes et listant les modèles de calcul existants. Ils indiquent que l'utilisation des échangeurs sol-air est appropriée pour les serres, les fermes d'élevage, les bâtiments commerciaux et les résidences. Ils rapportent également que, dans certaines situations, le système ne suffit pas à lui seul pour fournir les conditions d'ambiance souhaitées. Cependant, dans ces cas, cela permet de réduire la demande énergétique.

D'autres projets ont été réalisés au Québec dans le but d'étudier différentes techniques de conditionnement de l'air. L'utilisation de la géothermie en production porcine a été évaluée par Godbout et Minea (2000). Dans le cadre de leurs essais, un liquide caloporteur circulait dans le sol via un réseau de conduites installées à une profondeur de 90 cm et raccordées à une pompe à chaleur. Un second réseau de conduites était installé à 5 cm sous la dalle du plancher d'élevage des porcelets. La sonde du thermostat du contrôle était positionnée directement à la surface de la dalle. Dans le cadre de leurs travaux, ils ont trouvé que la géothermie peut être utilisée pour le chauffage par plancher chauffant en pouponnière. Guimont *et al.* (2004) ont quant à eux réalisé un projet sur l'utilisation des murs solaires pour réduire les coûts énergétiques en pouponnière. Cette technique consistait à aspirer l'air extérieur via des tôles noires perforées et exposées au soleil afin de préchauffer l'air avant son introduction dans les salles d'élevage. Ils ont trouvé que le système de mur solaire permet des avantages économiques et environnementaux intéressants, notamment en diminuant la consommation annuelle de

propane et les émissions de gaz à effet de serre. En 2012, Pouliot *et al.* ont effectué un projet portant sur différentes stratégies pour rafraîchir les truies et les porcs en engraissement par temps chauds. Les techniques de recirculation, de brumisation et d'aspersion ont notamment été comparées. Ces différentes techniques permettent ainsi d'améliorer le confort des animaux via le conditionnement de l'air ambiant.

2.3 Filtration et conditionnement de l'air

L'aérogéothermie est une technique combinant à la fois la capacité de filtration et de conditionnement de l'air. Celle-ci consiste à aspirer directement l'air contenu dans les interstices du sol. Pour ce faire, des puits de captation, composés de conduites perforées, sont enfouis à proximité du bâtiment à une profondeur variant entre 1,5 et 2,5 mètres dans le sol, soit à une profondeur où les conditions extérieures ont peu d'influence. Un ventilateur est ensuite utilisé pour aspirer l'air d'un puits de captation et l'acheminer à l'intérieur d'un bâtiment.

3 Objectifs du projet

Considérant que la filtration de l'air est une technique reconnue pour réduire significativement les risques de contamination des élevages porcins par voie aérienne et que l'utilisation du sol pour traiter l'air par des processus de biofiltration dans le secteur industriel est documentée, l'étude du potentiel de la technologie d'aérogéothermie pour protéger un élevage porcin d'une contamination au vSRRP par voie aérienne, mais également pour conditionner l'air, tant dans l'optique de rafraîchir les animaux en été que de réduire les besoins de chauffage en hiver, a été réalisée. L'objectif principal du projet est d'évaluer l'efficacité de l'aérogéothermie à filtrer l'air dans une optique de biosécurité et de conditionnement de l'air.

Les sous-objectifs sont de :

- A) Valider un modèle de contamination de porcelets négatifs au vSRRP par aérosols provenant d'une ferme de statut positif au vSRRP ;
- 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 du 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.

4 Matériel et méthodes

4.1 Déroulement du projet

Le projet s'est déroulé à la Station d'évaluation des porcs de Deschambault (Station) appartenant au CDPQ, soit une pouponnière-engraissement de 400 places (Figure 1).

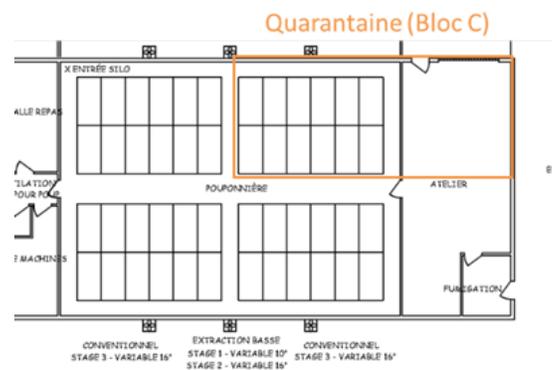


Figure 1 Photo et plan de la pouponnière de la Station d'évaluation des porcs de Deschambault

Ce projet a profité du protocole expérimental d'un autre projet de recherche qui était en cours à la Station sur la résilience aux maladies selon le génome des animaux (projet financé par PigGen Canada). Ce projet imitait le processus de la contamination naturel des animaux, et pour cette raison, le protocole a été appelé : modèle d'infection naturel des porcelets. Dans le cadre de ce projet, 60 porcelets sains (naïfs aux différentes maladies) étaient introduits aux trois semaines dans la section quarantaine de la Station. Les porcelets séjournèrent 19 jours dans cette section, qui est sous air filtré et ventilé en pression positive. Cette étape servait à prendre différentes mesures sur les animaux, à valider le statut sanitaire de ces animaux et surtout à confirmer qu'ils sont bien négatifs vSRRP. Cette maladie est présente dans plusieurs élevages porcins du Québec et elle cause d'énormes pertes financières aux producteurs année après année.

Par la suite, les porcelets naïfs étaient transférés dans la pouponnière de la Station, où séjournèrent 60 autres porcelets qui étaient 3 semaines plus âgés que les nouveaux

arrivants. Ces derniers étaient contaminés par le groupe de porcelets précédents afin de devenir porteurs de différents agents pathogènes, dont des agents infectieux à dispersion par aérosols (ex. : vSRRP, *Mycoplasma hyopneumoniae*, autre). Une confirmation de leur statut sanitaire positif était faite avant l'introduction des nouveaux porcelets. Ce projet imitait donc le modèle de contamination naturelle des porcs aux différents agents pathogènes. Avant le début du projet sur l'aérogéothermie, 75 lots de porcelets (entrée toutes les 3 semaines) avaient déjà été suivis. Ce dispositif expérimental (modèle d'infection naturelle) unique a donc permis de réaliser le présent projet.

Afin d'atteindre les différents objectifs du projet, ce projet a été sous-divisé en quatre étapes. Les différentes étapes sont présentées au Tableau 1.

Tableau 1 Étapes effectuées pour la réalisation du projet

Étape	But de réalisation	Date de réalisation	Objectif du projet
1- Prototype du puits de captation	Miniaturiser un puits de captation dans le but de simuler différentes conditions expérimentales dans un environnement où les conditions frontière sont connues.	Été et automne 2019	-
2- Bioessais extérieurs	Déterminer s'il est possible de contaminer des porcelets sains situés à l'extérieur d'un ventilateur d'extraction basse où se trouvent des animaux contaminés au vSRRP (contamination par aérosols).	Automne 2019	Sous-objectif A
3- Bioessais intérieurs	Déterminer l'efficacité de filtration du système d'aérogéothermie en vérifiant le statut des porcelets séjournant dans une salle d'élevage dont la ventilation provient du système d'aérogéothermie.	2020-2021	Sous-objectif B
4- Puits de captation	Déterminer l'efficacité de conditionnement de l'air du système d'aérogéothermie en ventilant une salle d'élevage de quarantaine.	2020-2021	Sous-objectifs C et D

4.2 Prototype du puits de captation

4.2.1 Objectifs et fonctionnement du prototype

Bien qu'il ne s'agît pas d'une activité prévue initialement au projet, un prototype visant à miniaturiser le puits de captation du système d'aérogéothermie a été réalisé dans le but de mieux comprendre son fonctionnement. Le prototype a permis de simuler différentes conditions expérimentales dans un environnement contrôlé. Il s'agissait donc d'une phase préparatoire pour mieux comprendre le fonctionnement du système réel et de valider le système d'acquisition de données et l'instrumentation utilisés avec la tranchée et le puits de captation.

Le prototype consistait en une caisse en bois de 36 po x 36 po x 36 po, dont les parois internes sont couvertes d'une pellicule robuste en polythène, et remplie de sable filtrant respectant la spécification Q2-r22, puis raccordée à une conduite de ventilation en acier galvanisé d'un diamètre 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 (Figure 2 et Figure 3). Lorsque la génération de poussière était nécessaire, de la poussière A3 Medium Standard Dust a été générée à l'aide d'un générateur de poussières Solid Aerosol Generator 410/H (SAG410/H, Topas GmbH, Dresden, Allemagne). Un filtre HEPA était à ce moment 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.

Un ventilateur (Vortexfan, VTX400) dont la vitesse était ajustée manuellement permettait d'aspirer l'air d'un drain recouvert d'un géotextile enterré dans le sable. Un organe déprimogène en forme de diaphragme ajustable de 4 po (CFM continental fan, modèle IRISS-04, stainless steel construction) permettait d'évaluer le débit d'air. La mesure du débit d'air a également été confirmée à l'aide d'un anémomètre à fil chaud Alnor (TSI, modèle AVM440) (Figure 2 et Figure 3).

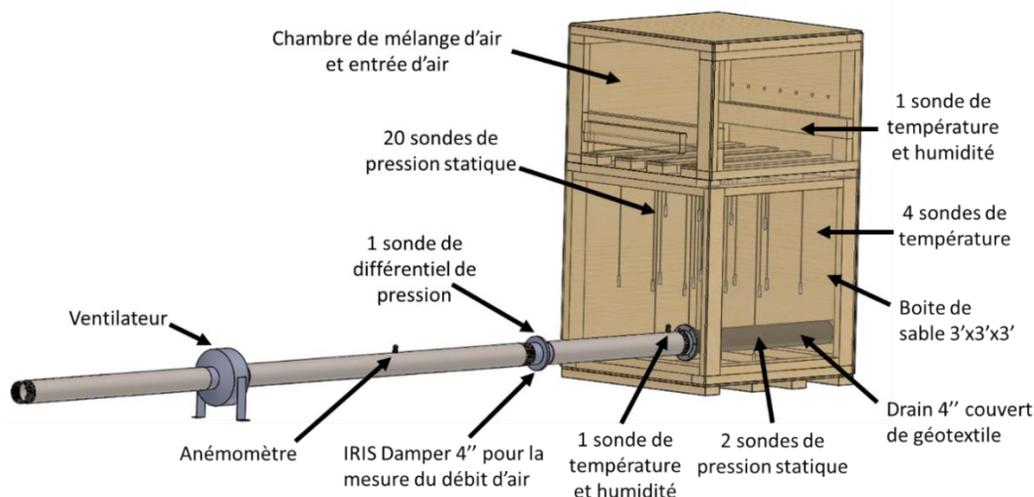


Figure 2 Identification des composantes du prototype



Figure 3 Vue des installations lors de la réalisation des simulations



Figure 4 Vue de l'intérieur de la section inférieure du prototype avant et après le remplissage avec le sable

4.2.2 Instrumentation : capteurs de pression et sondes de température / humidité

Plusieurs 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 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 (Tableau 2 et Figure 5). Un convertisseur analogique numérique (CAN) (Labjack, modèle T7 pro) muni d'une extension (LabJack, modèle CB37) ainsi qu'un script Python a permis l'acquisition des données en continu lors des tests.

Tableau 2 Différents capteurs présents dans le prototype

Type de sonde	Mesure	Nombre	Emplacement
Phidgets, MPXV7002DP	Pression statique	22	20 dans le sable et 2 dans le drain
Honeywell, modèle HSCDRRN001NDAA5	Différentiel de pression	1	Iris
Texas Instruments, modèle LM34CZ/NOPB	Température	3	Sable
Electronic Innovations Corp, modèle EI-1022	Température	1	Sable
TE Connectivity Measurement Specialties, modèle HPP809A031	Température et humidité	2	1 dans la conduite en acier et 1 à l'extérieur du prototype

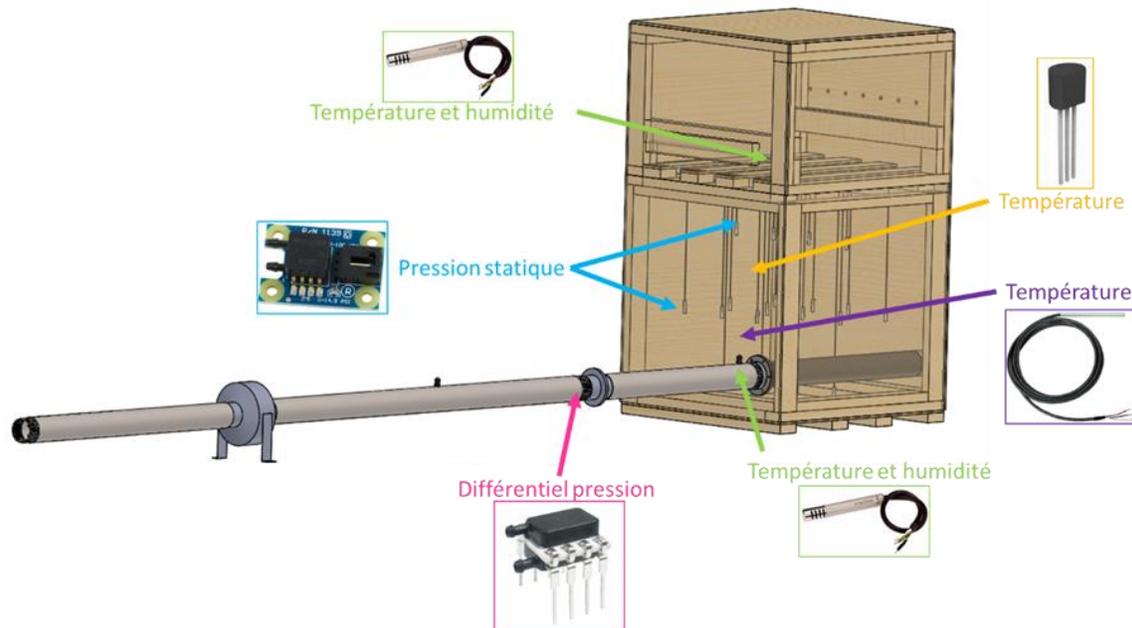


Figure 5 Identification des capteurs utilisés pour l'instrumentation du prototype

4.2.2.1 Étalonnage des sondes et tests à vide

Sondes de pression

Des tests d'étalonnage ont d'abord été réalisés à vide, soit lorsque le prototype n'était pas encore rempli de sable. Les sondes de pression statique (Phidgets, MPXV7002DP) ont été étalonnées dans le but de vérifier la pente à utiliser pour convertir le potentiel mesuré par les CAN lors de l'acquisition de données en pression (Pa). Pour ce faire, la pression a été modifiée dans la conduite afin d'obtenir plusieurs points. Cela a été réalisé en ajustant l'étanchéité du prototype pour modifier la pression statique dans la partie inférieure de la caisse en bois. La pression du prototype a été confirmée à l'aide d'un manomètre (Kimo, MP210G).

Iris

L'iris a été étalonné avant l'ajout du sable en faisant varier la vitesse du ventilateur, puis en mesurant la vitesse de l'air avec l'anémomètre ainsi que le différentiel de pression avec le manomètre (Figure 6).



Figure 6 Iris 4 po à un ajustement de 3

Les débits d'air furent, dans un premier temps, estimés de deux façons, soit à partir de la vitesse de l'air ainsi qu'à l'aide du différentiel de pression à l'iris. Pour la vitesse de l'air, comme l'écoulement est turbulent, il est estimé que la vitesse moyenne correspond à 0,8 multiplié par la vitesse maximale au centre de la conduite. En ce qui concerne le débit estimé à partir du différentiel de pression, les chartes fournies par le manufacturier ont été utilisées comme calcul de référence.

L'utilisation de l'anémomètre permet de déterminer la vitesse au centre (m/s) tandis que l'utilisation du différentiel de pression permet de déterminer la pression à l'iris (Pa) et de se rapporter au manuel du manufacturier pour calculer le débit correspondant au différentiel de pression. Selon les résultats obtenus, les débits estimés à partir de l'anémomètre et du différentiel de pression à l'iris sont équivalents et il fut décidé d'utiliser le débit calculé à partir du différentiel de pression à l'iris pour les autres phases des prétests. Le différentiel de pression était mesuré avec un capteur disposant d'une plage de mesure de ± 250 Pa (Honeywell, modèle HSCDRR001NDAA5).

4.3 Bio-essais extérieurs

Comme il est très difficile et coûteux de détecter le vSRRP dans l'air avec des échantillonneurs d'air, l'approche par bio-essais fut privilégiée dans le cadre 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 où séjournent des porcelets contaminés au vSRRP. Une contamination des animaux permet de confirmer la présence du virus dans l'air et que ce dernier peut infecter des animaux sains exposés à des aérosols du virus. Cette étape est essentielle pour la suite du projet et permettre de démontrer la capacité du système d'aérogéothermie à filtrer l'air lorsque le virus est présent et actif dans l'environnement.

Trois lots de porcelets ont donc été logés à l'extérieur de la ferme près de la sortie du ventilateur de l'extraction basse de la Station expérimentale de Deschambault. Les porcelets étaient donc exposés à l'air contenant des aérosols possiblement contaminés avec différent agent pathogène.

Lot 1: 9 au 17 septembre 2019

Lot 2: 19 septembre au 8 octobre 2019

Lot 3: 10 au 29 octobre 2019

4.3.1 Logement des animaux et instrumentation

Pour chacun des lots, trois porcelets ont été logés dans une cage installée sur une remorque dont l'intérieur a été recouvert de plastique pour en permettre un lavage et une désinfection efficace entre chaque lot (Figure 7). La remorque a été installée dans un abri auto qui servait à protéger les porcelets des intempéries et également à concentrer l'air contaminé dans l'environnement des porcelets. Cet abri auto était positionné au-dessus du puits de captation du système d'aérogéothermie (Figure 8). Une conduite en bois raccordait l'abri auto au ventilateur d'extraction de la pouponnière où logeaient des animaux contaminés au vSRRP. 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. Une prise de sang a été réalisée à la fin du logement à l'extérieur afin de déterminer leur statut de santé.



Figure 7 Logement des porcelets dans la cage et remorque utilisée au cours des bio-essais extérieurs



Figure 8 Abri auto et sortie du ventilateur d'extraction dans la conduite en bois

Une sonde de température (Labjack, EI-1034) installée dans la ripe permettait de contrôler un tapis chauffant en fonction de la température ambiante dans l'abri auto. Une autre sonde de température et d'humidité relative (Labjack, EI-1050), exposée à l'air ambiant, contrôlait 2 lampes infrarouges (Figure 9). Le contrôle des éléments de chauffage et l'enregistrement continu des conditions d'ambiance se sont faits à partir d'un ordinateur installé au bureau de la ferme et d'un script programmé sur Python. Le confort des porcelets était confirmé par le visionnement ponctuel des enregistrements vidéo (Figure 9) effectués quotidiennement entre 2 h 30 et 3 h et entre 16 h et 16 h 30.



Figure 9 Capture d'image de la surveillance vidéo et instrumentation de l'abri auto

4.4 Puits de captation et système d'aérogéothermie

4.4.1 Puits de captation

L'aérogéothermie est une technologie permettant de capter l'air contenu dans les interstices du sol. Pour ce faire, un puits de captation a été enfoui sous terre à proximité de la Station expérimentale de Deschambault. Celui-ci est spécifiquement conçu pour aspirer l'air du sol et le redistribuer via des conduites dans la ferme. 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 (Figure 10). La tranchée a par la suite été remblayée avec un sable filtrant Q2-r22 (ou un équivalent). Celui-ci est ensuite raccordé à un ventilateur (modèle BI-16 de Carnarm, muni d'un modèle 5Hp MaxMotion MOP-22), qui permet d'aspirer l'air dans le puits de captation et de le pousser dans la quarantaine de la Station de Deschambault (Figure 11 et Figure 12). Deux abris autos ont été installés au-dessus de la tranchée (Figure 10). Le premier a été utilisé pour les bio-essais extérieurs et permet de concentrer l'air d'extraction contaminé provenant de la pouponnière au-dessus du puits de captation. Le deuxième abri auto est situé au-dessus de la conduite de raccordement extérieur afin de la protéger des intempéries et faciliter les prises de mesure faites manuellement.



Figure 10 *Reproduction de la tranchée de sable (rectangle couleur pêche), des deux abris autos (rectangles gris) et des sections d'instrumentation (points noirs) à la Station de Deschambault*



Figure 11 Jonction entre la sortie du puits et le ventilateur pompant l'air. Aperçu de la conduite avant la pose de l'isolation

La conduite de raccordement entre le puits de captation et la quarantaine où se déroulent les bio-essais intérieurs doit permettre de caractériser le débit d'air et les conditions de l'air fourni par le système d'aérogéothermie (Figure 12).

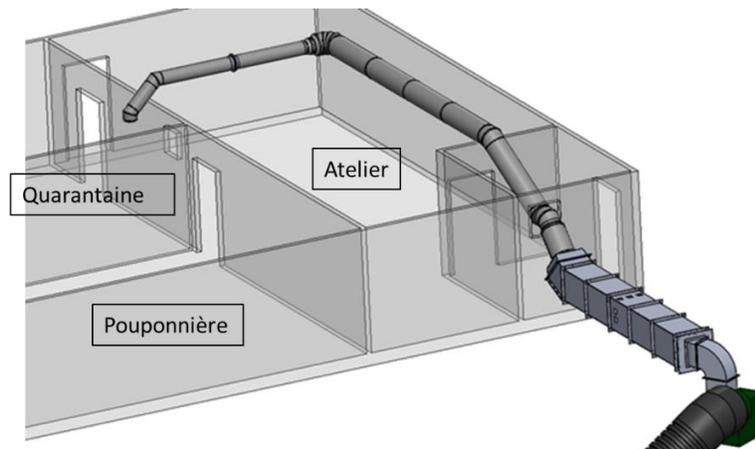


Figure 12 Schéma de l'aménagement du raccordement de la conduite et du puits de captation

Pour s'agencer avec le ventilateur choisi, il fut préféré de faire la première section de la conduite (portion extérieure dans l'abri auto) en tôle d'aluminium fabriquée sur mesure, soit avec une forme carrée de 24 pouces de côté. Cela permet de faciliter l'agencement au ventilateur en plus de permettre l'utilisation d'un redresseur d'air, des ports de mesure de vitesse, des ports additionnels pour utiliser des échantillonneurs de particules, de même que d'intégrer la tuyère et une ouverture modulable manuellement pour décharger le surplus d'air (Figure 13 et Figure 14). Les sections ont été boulonnées entre elles. La tôle a été lavée et désinfectée avant l'envoi d'air dans la porcherie afin de limiter la contamination durant les installations. La conduite de raccordement extérieure se trouve dans un abri auto et celle-ci est isolée.

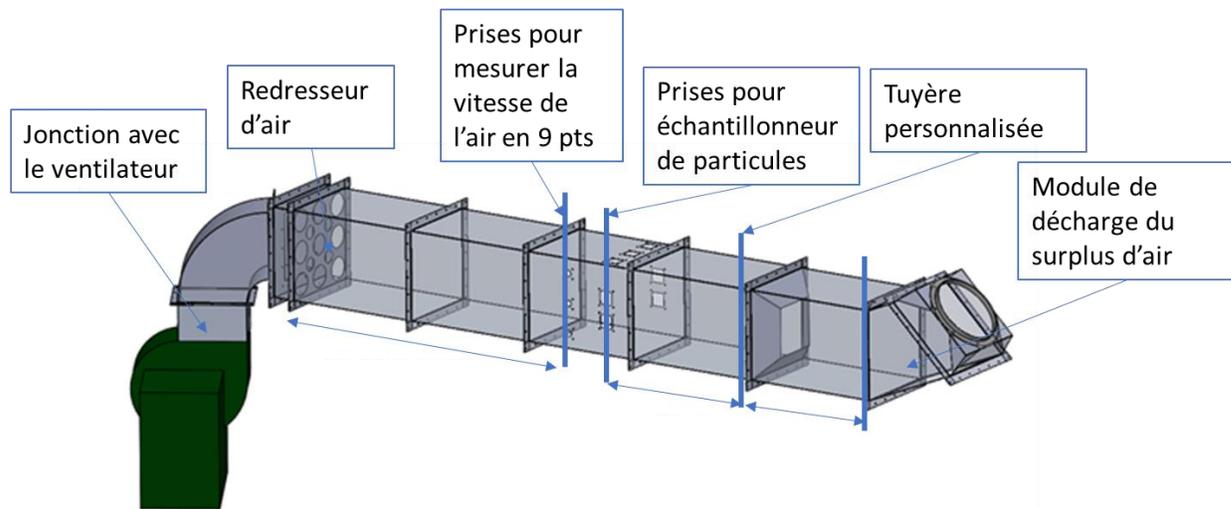


Figure 13 Schéma de la conduite de raccordement extérieure



Figure 14 Photos de la conduite de raccordement extérieure avant l'isolation avec des panneaux rigides

Plusieurs transitions ont lieu entre la conduite carrée initiale de 24 po et le ventilateur (Figure 15). Tout d'abord, une transition en conduite rigide ronde de 18 po permet d'effectuer la transition immédiatement avant d'entrer dans la ferme, soit entre la conduite de raccordement extérieure et intérieure. Ensuite, une transition de 16 po permet d'entrer dans l'entretoit, où les tuyaux rigides d'acier galvanisé sont isolés avec de la laine minérale. Une dernière transition vers une conduite rigide de 10 po permet d'entrer dans la quarantaine. Toutes les sections sont isolées afin d'éviter une perte de chaleur l'hiver ou un réchauffement de l'air l'été (Figure 16).

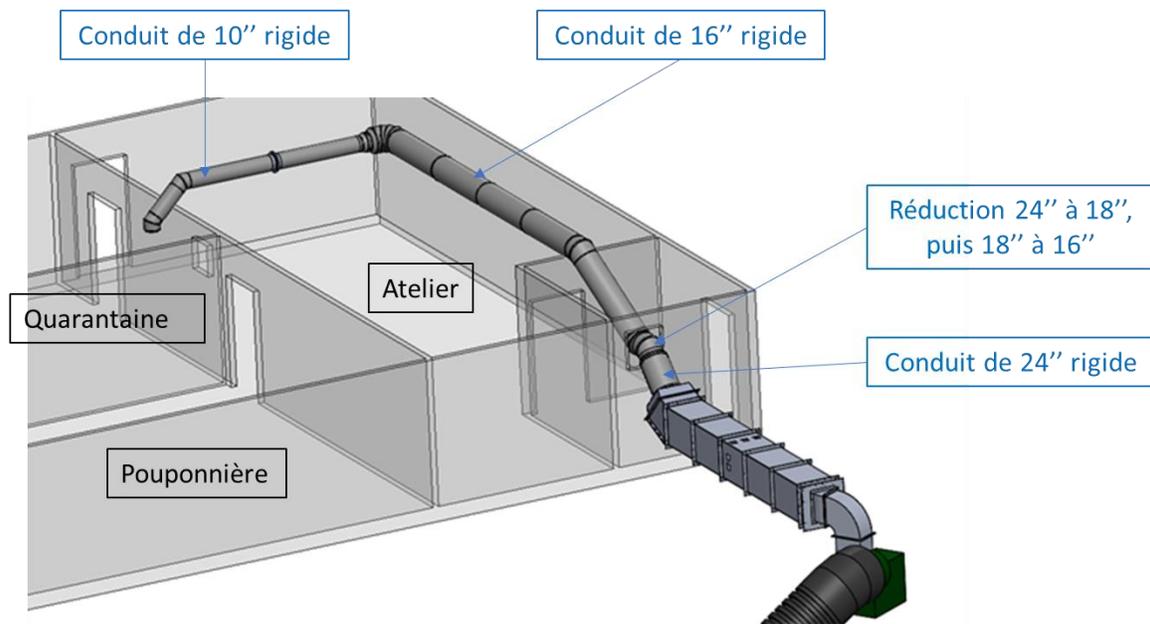


Figure 15 Schéma général des installations de la conduite de raccordement du système d'aérogéothermie



Figure 16 Conduite de raccordement dans l'entretoit avant et suivant la pose de l'isolant

4.4.2 Instrumentation du puits de captation et de la conduite d'air vers la quarantaine

4.4.2.1 Mesure de la température dans le sol et dans le puits de captation

60 sondes de température (Texas Instruments, modèle LM34CZ) ont été utilisées afin de déterminer la variation de la température dans le sable filtrant autour du puits de captation ainsi que dans le sol non remanié autour de la tranchée. La tranchée du puits dispose de quatre sections de mesure des conditions du sol. Le point de référence en « X » est la fin du puits de captation, soit l'extrémité opposée au ventilateur (Figure 17).

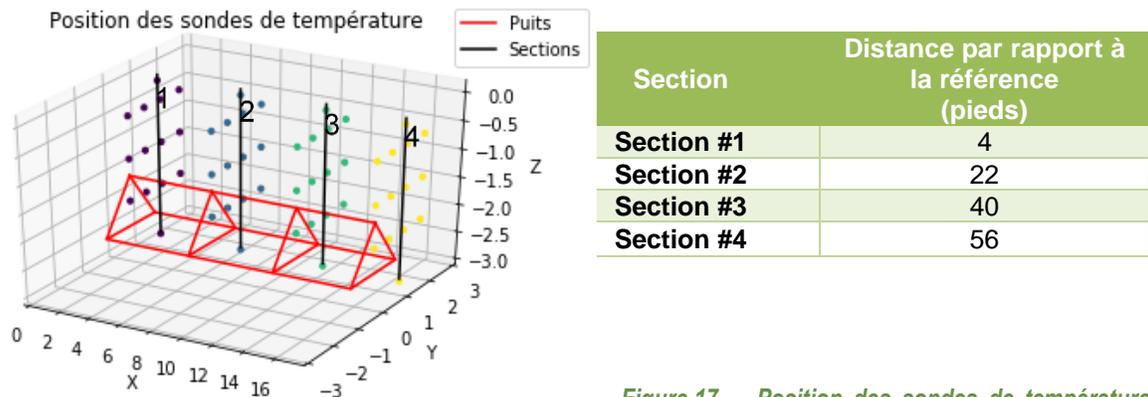


Figure 17 Position des sondes de température

dans le puits de captation et autour de celui-ci

Pour chacune de ces sections d'instrumentation, 13 thermistances ont été enterrées, tandis qu'une autre sonde a été ajoutée directement dans le puits de captation afin de déterminer la température de l'air (Figure 18). Vis-à-vis le centre de la tranchée (31'), quatre thermistances additionnelles ont été enterrées afin de mesurer la température du sol non remanié (Figure 19).



Figure 18 Emplacement des sections d'instrumentation dans la tranchée et localisation des sondes de température sur chaque section



Figure 19 Section d'instrumentation, sol non remanié et sonde de température

Les sondes de température ont ensuite été raccordées jusqu'à un convertisseur analogique numérique (CAN) Labjack (modèle T7), raccordé à quatre CB37 connectés via des extensions MUX80. Comme la plage de fonctionnement est de -40°C à 80°C pour le CAN, il fut installé dans une boîte de jonction intermédiaire située dans l'abri auto extérieur (Figure 20).

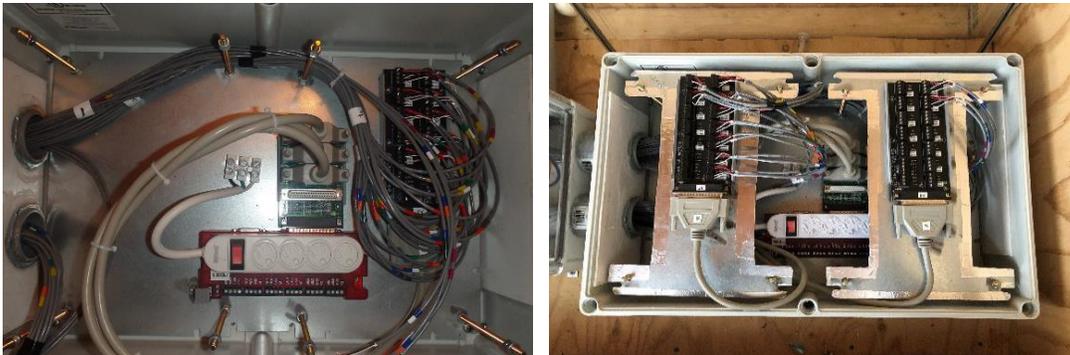


Figure 20 Panneau de contrôle des sondes de température (étage inférieur et supérieur)

4.4.2.2 Mesure de la pression dans le sol et dans le puits de captation

En plus des 13 sondes de température, chaque section d'instrumentation comportait également 11 tuyaux de pression. Quatre tubes de pression, soit un par section, étaient également présents au niveau du puits de captation afin de déterminer la pression d'opération. Un total de 48 tubes reliés à des sondes de pression (Phidgets, modèle MPXV7002DP) permettaient donc de déterminer la variation de la pression statique dans le sable filtrant autour du puits de captation (Figure 21).

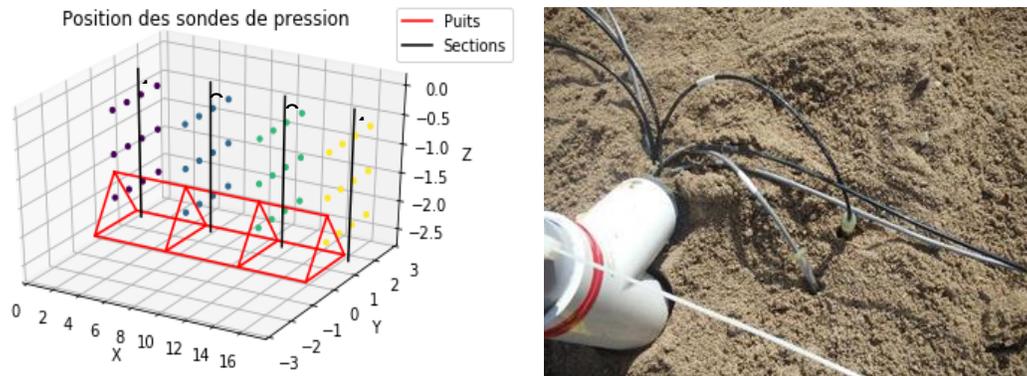


Figure 21 Position des sondes de pression et exemple des positionnements des sondes de température et pression dans le sol

Contrairement au panneau de contrôle de la température qui est situé à l'extérieur dans un abri auto, le panneau d'acquisition de données de pression est situé dans un petit local de l'atelier (salle de fumigation). La plage de fonctionnement des capteurs de pression étant de 10°C à 60°C, ceux-ci devaient être conservés dans une salle chauffée (Figure 22).



Figure 22 Panneau d'acquisition des données de pression

Les sondes de pression ont été étalonnées grâce à une procédure similaire à celle utilisée lors des tests avec le prototype. La pression de chaque sonde a été mesurée à l'aide d'un manomètre (MP200, KIMO) durant 1 minute. La valeur de pression moyenne obtenue grâce au manomètre a ensuite été comparée à la valeur médiane du voltage donnée par le système d'acquisition de données dans le but d'établir l'équation. Le processus a été répété à plusieurs vitesses de ventilateur, soit à 0 Hz, 46 Hz et 60 Hz. Comme chaque capteur de pression a une ordonnée différente, soit la valeur mesurée en volts lorsque le ventilateur est arrêté (0 Hz), alors l'équation est établie en utilisant le différentiel de voltage à une vitesse donnée.

4.4.2.3 Mesure de la température et de l'humidité dans la conduite de raccordement extérieures

Deux sondes de température (Labjack, EI-1034) ainsi que deux sondes d'humidité (Measurement specialties, modèles HM1500 LF et HM1520LF) ont été installées dans la conduite de raccordement extérieure directement après le ventilateur afin de déterminer les conditions d'ambiance de l'air puisé dans le sol (Figure 23)

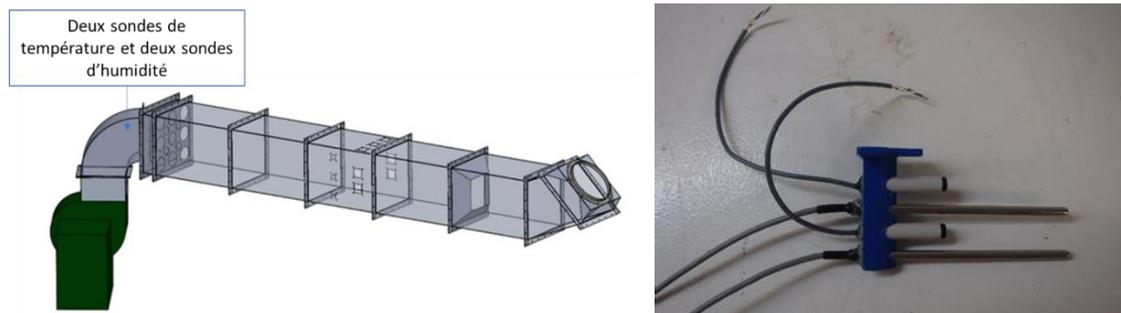


Figure 23 Instrumentation de la conduite de raccordement extérieure avec deux sondes de température et deux sondes d'humidité

4.4.2.4 Mesure du différentiel de pression dans la conduite de raccordement extérieure

Deux sondes de différentiel de pression de 250 pa (Honeywell, modèle HSCDRRN001NDAA5) ont été installées à l'organe déprimogène de forme s'apparentant à une tuyère, de la conduite de raccordement afin de déterminer le débit (Figure 24).

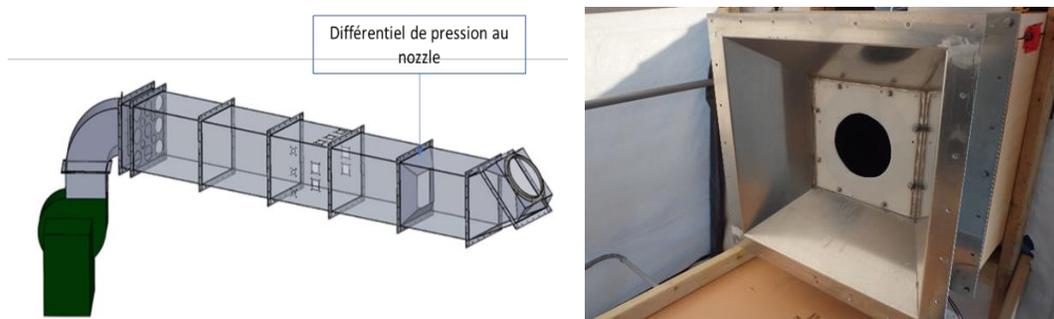


Figure 24 Instrumentation de la conduite de raccordement extérieure pour le différentiel de pression à la tuyère

Les sondes de différentiel de pression à la tuyère ont été étalonnées en mesurant le voltage du système d'acquisition de données, puis en comparant la vitesse de l'air mesurée en neuf points grâce à l'anémomètre (AVM440, Alnor). Cela a été répété pour trois vitesses de ventilateur, soit 46 Hz, 53 Hz et 60 Hz. Pour chaque valeur de ventilateur, la vitesse moyenne des neuf points a été utilisée pour établir l'équation de conversion.

4.4.2.5 Mesure du différentiel de pression (iris) dans la conduite de raccordement dans l'entretoit

Deux sondes de différentiel de pression de 250 Pa (Honeywell, modèle HSCDRRN001NDAA5) ont été installées à l'iris dans l'entretoit afin de déterminer le débit. Un diaphragme de 10" est utilisé pour mesurer le débit d'air acheminé aux animaux dans la quarantaine (Figure 25).

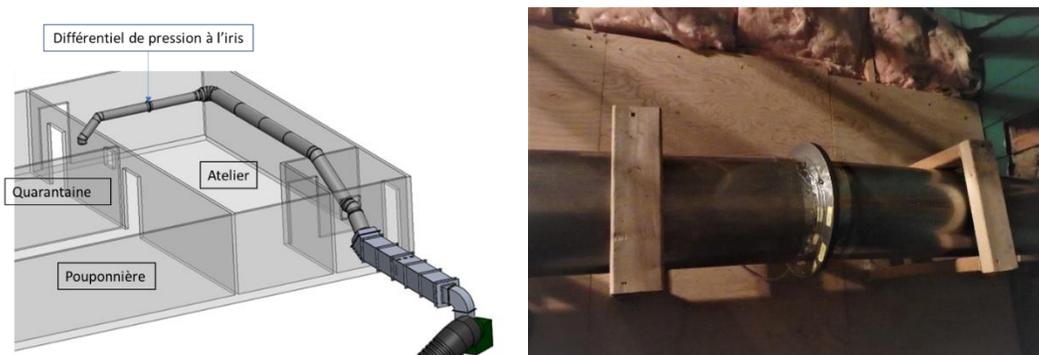


Figure 25 Instrumentation de l'iris avec une sonde de différentiel de pression.

L'étalonnage du différentiel de pression à l'iris a été réalisé en utilisant un manomètre (MP200, KIMO) branché sur les tuyaux de pression à l'iris, puis en comparant avec la valeur obtenue en volts grâce au système d'acquisition des données. Le test a été réalisé à deux reprises soit le 17 juin et le 26 juin 2020. Le ventilateur était réglé à trois vitesses, soit 46 Hz, 53 Hz et 60 Hz.

4.4.2.6 Mesure de la température dans la conduite de raccordement dans l'entretoit

Une sonde de température (Labjack, EI-1022) a également été installée dans l'entretoit, directement avant la sortie d'air dans la quarantaine, afin de déterminer la température de l'air acheminé aux porcelets. Cela a également permis de vérifier s'il y avait une perte ou un gain de chaleur lié à l'isolation de la conduite d'aérogéothermie (Figure 26).

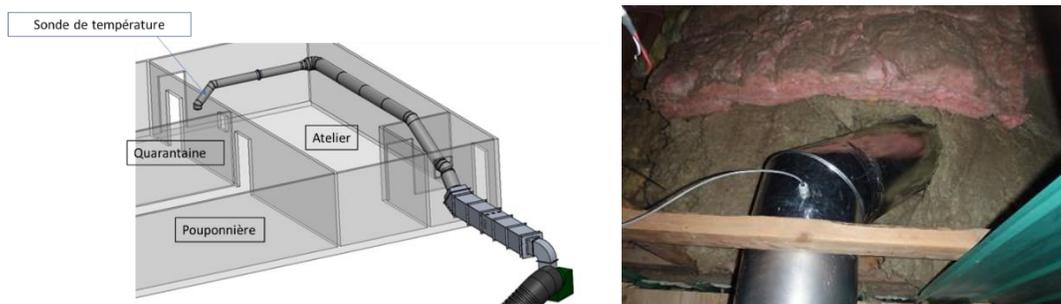


Figure 26 Instrumentation de l'entretoit avec une sonde de température.

4.4.3 Système d'acquisition des conditions d'ambiance dans la quarantaine

Une sonde de température (EI-1034, Labjack) a été installée dans la quarantaine et permettait l'acquisition des données de la température de l'air, mais également la gestion des lampes chauffantes infrarouges. Une rétroaction en fonction de la température ambiante permettait la gestion du confort des animaux, soit en allumant une ou deux séries de lampes chauffantes. Un compteur d'eau (M25P, Badger Meter) permettait de mesurer la quantité d'eau d'abreuvement des animaux (Figure 27).



Figure 27 Système d'acquisition de données de la quarantaine

4.4.4 Station météo extérieure à la station de recherche de Deschambault

Le sous-objectif D du projet est de comparer la température et l'humidité de l'air puisé dans le puits de captation avec celles de l'air extérieur. Comme la température et l'humidité relative de l'air à la sortie du ventilateur sont connues, alors une station météo a été installée à l'extérieur de la ferme à proximité du puits de captation afin de déterminer les paramètres ambiants de l'air extérieur.

Celle-ci comprend deux sondes de température (EI-1034, Labjack) et deux sondes d'humidité (HIH-4000, Honeywell). Les mesures de températures journalières (moyenne, minimum et maximum) de la station Deschambault d'Environnement Canada (station 7011983, 46°41'N, 71°58'O), située à proximité de la ferme ont également été utilisées afin de valider et compléter les données obtenues à l'aide de la station météo.

4.5 Bio-essais intérieurs

Les bio-essais intérieurs ont été réalisés dans la quarantaine de la Station d'évaluation de Deschambault, soit un environnement exempt de vSRRP. Les porcelets étaient placés dans 4 parcs de 15 animaux chacun. Les porcelets y séjournèrent en moyenne 19 jours avant d'être transférés vers la pouponnière où étaient logés d'autres porcelets contaminés par le vSRRP (Figure 28). Leur statut sanitaire était confirmé par sérologie avant leur transfert en pouponnière.

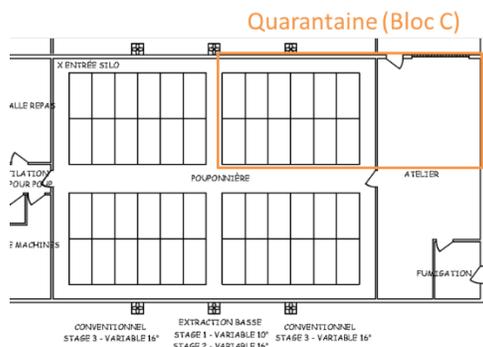


Figure 28 Quarantaine (exempte de vSRRP) où se sont déroulés les bio-essais intérieurs

La quarantaine est isolée et ventilée en pression positive. L'air envoyé aux porcelets provenait de deux sources, soit du système d'aérogéothermie et partiellement d'une prise d'air filtré. L'air qui était filtré arrivait de l'atelier, soit un local adjacent à la quarantaine qui était préchauffé, avant d'être envoyé aux porcelets. L'air provenant du puits de captation d'aérogéothermie est envoyé directement dans la quarantaine, et ce depuis mars 2020. Celui-ci est injecté au-dessus du ventilateur alimentant la salle en air filtré, sans passer par les filtres (Figure 29).

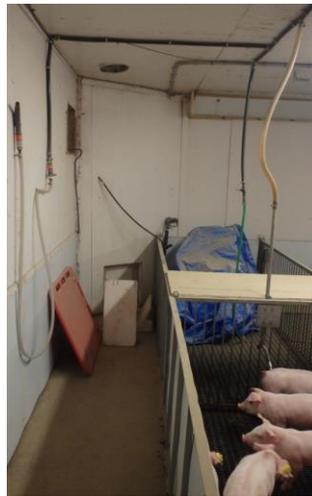


Figure 29 Entrées d'air dans la quarantaine

L'air contaminé de la pouponnière était concentré dans un abri auto directement au-dessus de la tranchée. La surface du sable sous l'abri était protégée des conditions climatiques, facilitant l'aspiration de l'air contaminé par le puits de captation (figure 30).



Figure 30 Abri auto visant de concentrer l'air au-dessus de la tranchée du puits de captation

5 Résultats

5.1 Résultats des essais réalisés avec le prototype

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

- Essai # 1 : Validation de la faisabilité de mesurer le différentiel de pression statique dans un lit de sable miniaturisé et estimation du coefficient de friction du lit de sable.
- 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.

5.1.1 Essai # 1 : Mesure de la pression statique dans le sol environnant un puits de captation miniaturisé (prototype)

L'essai # 1 a été réalisé le 9 juillet 2019. Différents tests ont été effectués au cours de cette phase afin de déterminer la variation spatiale de la pression statique. La variation de la pression statique a été mesurée pour quatre vitesses de ventilateur, soit à la vitesse maximale, moyen-maximale, moyen-minimale et minimale dans le but de déterminer l'effet de la vitesse du ventilateur sur la distribution de la pression dans le prototype. Ainsi, il est possible d'effectuer la représentation graphique de la variation de la pression statique dans le prototype pour chacun des tests de vitesse du ventilateur (Figure 31).

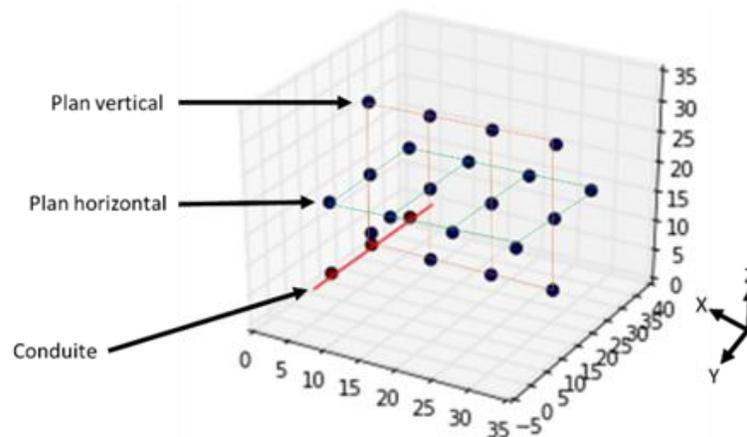


Figure 31 Plan 3D des points de mesure

Les graphiques de la distribution de la pression dans le sol selon les vues en plan horizontal et vertical sont présentés à la Figure 32 et à la Figure 33 pour les ajustements maximum et minimum du ventilateur. Il est possible de voir qu'il y a une différence de pression statique entre les différents points de mesure dans le sable pour une même vitesse de ventilateur.

Pour le plan horizontal, la pression est plus élevée au niveau du drain recouvert de géotextile, tandis qu'elle diminue lorsque l'on s'éloigne de la conduite. De plus, la vitesse du ventilateur a un impact sur la pression statique mesurée. Il y a une augmentation de la pression statique mesurée avec l'augmentation de la vitesse du ventilateur

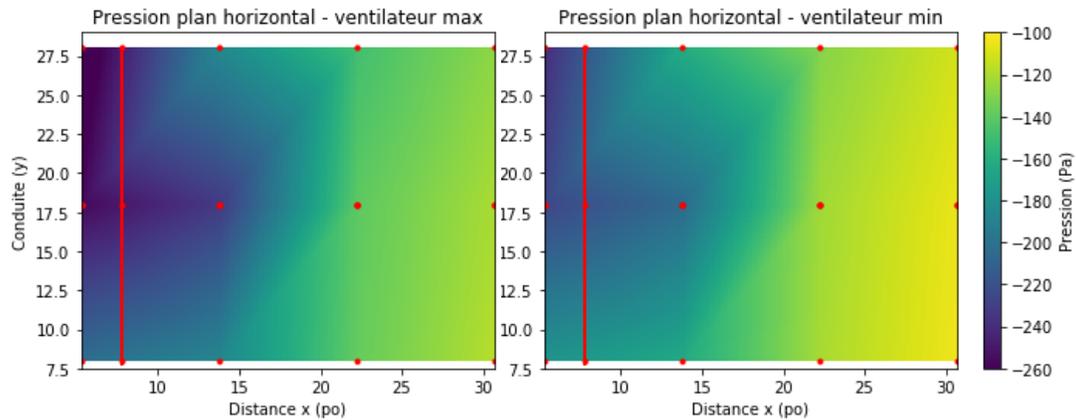


Figure 32 Variation de pression dans le sol du prototype sur le plan horizontal selon la vitesse d'air du ventilateur

Il est possible de tirer les mêmes conclusions pour le plan vertical (Figure 33) que pour le plan horizontal. La pression est plus élevée au niveau de la conduite, tandis qu'il y a une diminution à mesure qu'on s'en éloigne. La vitesse du ventilateur engendre une augmentation de la pression statique mesurée. La technique de mesure de la pression utilisée est fonctionnelle et cette même technique a été utilisée à grande échelle pour la conduite d'aérogéothermie. Les mesures de débit obtenues lors de ce test ont également permis de revoir les dimensions du puits de captation creusé à la Station expérimentale de Deschambault. Celui-ci a été de taille supérieure à ce qui était initialement prévu (16'x60' vs 10'x50') afin d'augmenter le débit puisé dans le sol.

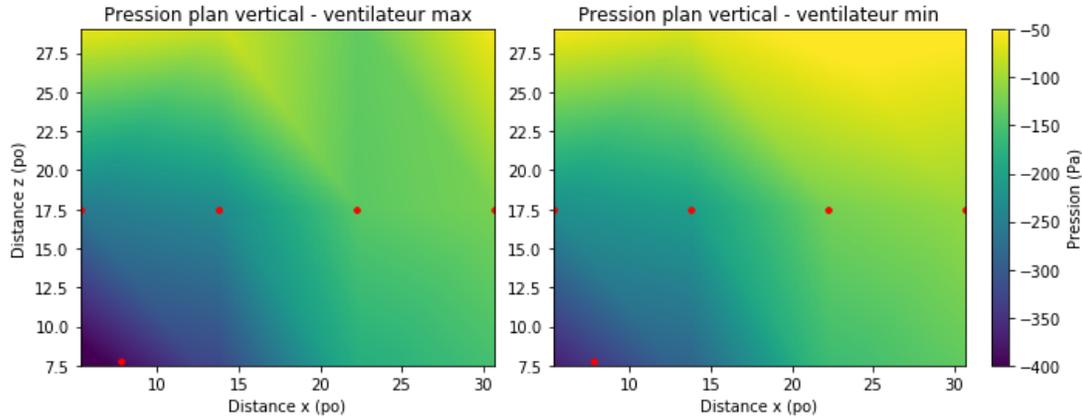


Figure 33 Variation de pression dans le sol du prototype sur le plan vertical selon la vitesse d'air du ventilateur

En ayant conscience que la teneur en eau du sol et le tassement du sable affectent le coefficient de friction, il est proposé de s'inspirer de l'approche de Bird et al. (2001) sur les « colonnes à lit fluidisé » qu'ils décrivent, en citant Ranz 1952, comme étant « un ensemble d'objets submergés dont la sommation des résistances permet d'obtenir la diminution de la pression d'un écoulement ». L'équation utilisée pour estimer le facteur de friction est la suivante et en utilisant l'équation appropriée pour les conduites non circulaires, on substitue D_p par $4R_h$:

$$f = \frac{1}{4} \left(\frac{D_p}{L} \right) \left(\frac{P_0 - P_L}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} \right) = \left(\frac{R_h}{L} \right) \left(\frac{P_0 - P_L}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} \right)$$

Considérant une section carrée de 36po :

$$R_h, \text{ le rayon hydraulique moyen} = \frac{S, \text{ l'aire de la section de la conduite}}{Z, \text{ le périmètre de la conduite}} = 0.22 \text{ m}$$

En utilisant les variations de pression moyenne entre les points du dessus et les points centraux du plan vertical (approximativement 118 Pa), dans le but de négliger l'influence de la réduction de section causant l'accélération de l'air à l'approche du drain. Estimant ainsi la distance entre les points de mesure à 0,3 m et la section d'écoulement à 0,8 m².

En ajoutant de l'eau à un volume de sable tassé, il fut estimé la porosité du sable tassé de 33 %, permettant d'estimer l'aire des espaces libres où l'air peut circuler. Ainsi, on calcule que la vitesse moyenne ajustée est d'environ 0,023 m/s, en divisant le débit moyen (0,006 m³/s) par l'aire de la section d'écoulement (0,8 m²) et la porosité du sable. Et le facteur de friction est estimé :

$$f \approx \left(\frac{0.22}{0.3} \right) \left(\frac{118 \text{ Pa}}{0.5 \times 1204 \times 0.023^2} \right) \approx 272 \text{ 000}$$

La valeur du facteur de friction est élevée. Nous observons un débit avoisinant 6 l/s [13 cfm] pour une pression d'opération du puits miniaturisé de 400 Pa et une surface de 0.8 m² [8.5 pi²].

5.1.2 Essai # 2 : Estimation de l'efficacité de filtration d'une section de sable lors de la génération de poussières

L'essai # 2 a été réalisé le 15 août 2019. Le but de ce test était d'estimer l'efficacité de filtration de l'air d'une section de sable d'environ 75 cm de profondeur. Pour ce faire, des poussières *ISO-12108, A3 Medium Test Dust* (Powder Technology Inc), dont le DAMM est de 12 μm , ont été générées à l'aide d'un générateur de poussière SAG 410/H (Solid Aerosol Generator, SAG 410/H, Topas GmbH, Dresden, Allemagne), 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 (Figure 34).



Figure 34 Vue des installations lors de la réalisation de la phase 2

La numération de poussières a été réalisée à la sortie de la conduite du ventilateur grâce à un compteur de particules Fluke 985. Celui-ci a été placé à l'intérieur de la boîte, sur le côté de la boîte ainsi qu'à la sortie de la conduite (Figure 35). L'échantillonnage dans la conduite n'était toutefois pas isocinétique. La technique utilisée n'était donc pas correcte, mais elle permettait d'avoir un aperçu du compte des poussières et de l'efficacité de filtration.



Figure 35 Positionnement du compteur de particules (Fluke 985)

Le compte de particules a été effectué à différents moments afin de comparer l'efficacité de capture des particules par le sable alors qu'il n'y avait pas encore de poussières

généérées (Tableau 3). Les comptes résultent de 5 minutes d'échantillonnage continu pour un volume d'air de 14.2 l [0.5 pi³] par échantillonnage. 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. Cependant, la seule utilisation adéquate pour le compteur de particules est celle où le compteur est situé au milieu de la boîte. Il est possible d'observer un biais sur le compte des plus grosses particules en échantillonnant sur le côté de la chambre de mélange.

Tableau 3 Numération de particules à différents endroits à l'aide d'un compteur Fluke 985

Grosueur des particules	Compte 0 du compteur avec 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

Il n'a pas été possible d'effectuer une numération des particules au cours du test de génération de poussières, car le nombre de particules était trop élevé pour permettre un comptage. Comme il était possible de constater par la fenêtre d'observation, l'air de la chambre de mélange contenait un nombre très important de poussières (Figure 36).



Figure 36 Vue de l'intérieur de la chambre de mélange au cours de la génération de poussières via la fenêtre d'observation

À la sortie du puits de captation miniaturisé, bien que les comptes de particules soient élevés comparés aux mesures avec l'air ambiant, on remarque qu'il semble y avoir une importante capture des particules plus grossières dans le lit de sable (Tableau 4). Bien

entendu, pour confirmer cette affirmation des tests approfondis sont requis, mais ne cadrent pas avec l'aspect préliminaire du présent projet.

Tableau 4 *Compte de particules à la sortie du tunnel du ventilateur au cours de la génération de poussières*

Grosseur des particules	Nombre de particules à la sortie du tunnel du ventilateur du prototype
0.3 μm	245911
0.5 μm	142177
1 μm	47772
2 μm	22067
5 μm	366
10 μm	16

Dans une optique plus générale, on observe que suffisamment de poussières ont été générées au cours de l'essai pour mesurer une augmentation de la pression moyenne sur le plan horizontal du lit de sable, caractérisant une obstruction graduelle de la surface. Une diminution conséquente du débit d'air puisé est également observée, permettant de conclure qu'il y a eu un colmatage graduel du lit de sable (Figure 37).

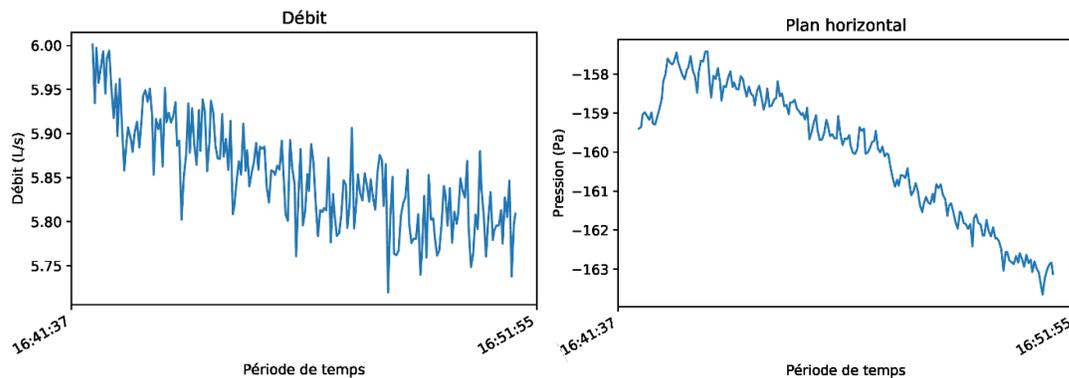


Figure 37 *Évolution du débit d'air à la sortie et de la pression moyenne sur le plan horizontal au cours de la génération de poussières dans la chambre de mélange*

Bien que la technique utilisée lors de cette phase fût loin d'être optimale, le test de poussières permet de conclure qu'il existe bien un potentiel de filtrer de l'air avec le lit de sable.

5.1.3 Essai #3 : Étude de l'influence d'un couvert végétal sur la distribution de la pression statique et les débits d'air extrait

L'essai #3 a été réalisé le 29 octobre 2019 dans le but 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, environ 6 po de sable ont été ajoutés 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 a été ajoutée pour ajuster au mieux les joints entre les morceaux. Le sol du couvert végétal était argileux et légèrement humide (Figure 38).



Figure 38 Vue des installations durant les tests avec le couvert végétal

Dans un premier temps, il est possible d'observer que le débit d'air extrait du prototype ne semble pas significativement 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 (Tableau 5). Le débit d'air était légèrement plus faible que lors des essais précédents, ce qui peut s'expliquer par la restriction additionnelle causée par l'épaisseur de sable ajouté pour égaliser la surface avant l'ajout du couvert végétal.

Tableau 5 Différentiel de pression à l'iris et débit d'air en fonction de la vitesse du ventilateur

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

Cependant, il fut observé que la présence de couvert végétal sur la section de sable a un effet sur la pression statique dans le prototype, où il est possible d'observer une diminution de la pression (augmentation de la pression négative) pour toutes les vitesses de ventilateur et toutes les sondes. Le Tableau 6 présente les valeurs de pression pour les trois sondes situées à la surface du sol, soit celles étant davantage affectées par le couvert végétal. Il est possible de remarquer que le couvert végétal cause une diminution de la pression statique mesurée pour tous les points.

Tableau 6 *Pression statique mesurée aux points de surface selon l'ajustement du ventilateur et la présence du couvert végétal*

	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

Ainsi, il est possible de conclure que le couvert végétal ajoute une restriction à l'écoulement de l'air à la surface du lit de sable, mais que cette restriction fut suffisamment faible pour prévenir de réduire significativement le débit d'air, dans le contexte expérimental du prototype miniaturisé du système d'aérogéothermie. Bien entendu, le couvert végétal n'était pas implanté dans la couche de sable, de sorte qu'il est possible que l'air se soit infiltré par les joints plutôt que par la terre. Dans le puits de captation, il pourrait également y avoir des effets complexes et interreliés du couvert végétal, tels que l'infiltration de l'eau des précipitations, le réchauffement du sable causé par le soleil et l'évaporation de l'eau.

En conclusion, l'essai sommaire réalisé avec le prototype ne permet pas de prédire les impacts réels qu'un couvert végétal implanté au-dessus de la tranchée filtrante pourrait avoir sur les performances d'un puits d'aérogéothermie. Toutefois, cela pourrait être un sujet de recherches futures. Bien entendu, les conclusions pourraient être bien différentes si un matériel autre que du sable était utilisé pour remblayer la tranchée du puits.

5.1.4 Essai # 4 : Effet d'une précipitation sur la pression statique et le débit d'air

L'essai # 4 a été réalisé le 9 septembre 2019 dans le but 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 (Figure 39).



Figure 39 Vue des installations lors de la simulation des précipitations

Il est possible d'observer que le débit est légèrement affecté par l'apport d'eau (Figure 40). 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 2^e ajout d'eau (0.85 L).

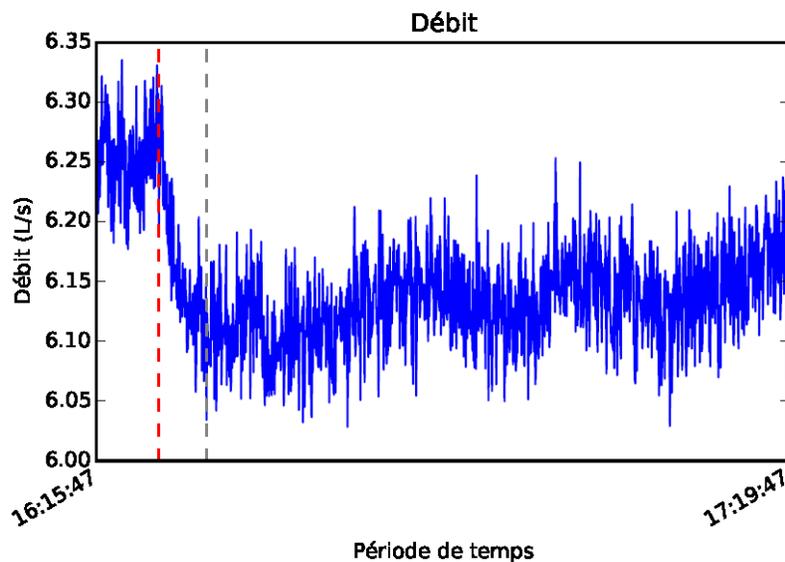


Figure 40 Débit d'air dans la conduite lors de la simulation des précipitations

Il est aussi possible d'observer que l'humidité relative dans la conduite d'extraction était très élevée (94 %) avant même l'ajout de l'eau (Figure 41). Cela peut être expliqué par le fait que le prototype est fabriqué en bois et qu'il est exposé aux précipitations. Lors de l'assemblage, un plastique a été installé entre la structure de bois et le sable. Toutefois, il ne permet pas de prévenir toutes les possibilités d'introduction d'eau. En situation réelle de la conduite d'aérogéothermie, il est tout de même nécessaire de prendre conscience que l'écoulement d'air va assécher la tranchée, pouvant augmenter l'humidité relative de l'air à la sortie.

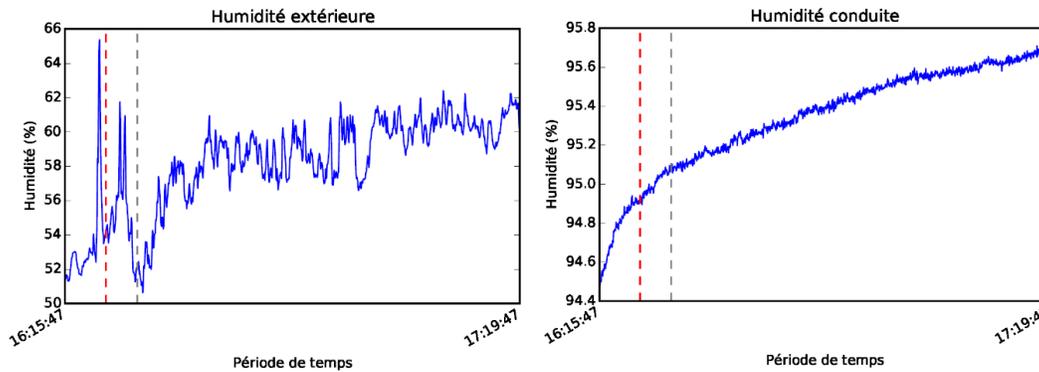


Figure 41 Humidité extérieure et effet de la simulation des précipitations sur l'humidité dans la conduite

Les résultats de cette phase permettent d'envisager que le débit d'air extrait du puits d'aérogéothermie ne devrait pas être significativement affecté par les précipitations. Il sera important de mesurer l'humidité relative de l'air extrait et non pas seulement sa température, dans le but de déterminer l'effet des précipitations sur les conditions ambiantes dans la ferme.

5.2 Résultats des bio-essais extérieurs

Les trois lots de porcelets qui ont été exposés à l'air d'extraction de la pouponnière où étaient logés des porcelets malades ont été contaminés au vSRRP. Il est donc possible de conclure que l'air sortant de la pouponnière contaminée de la Station de recherche de Deschambault contenait du vSRRP et que la concentration en aérosols était suffisante pour contaminer les porcelets naïfs à la maladie.

Tableau BEE Lots exposés à l'air contaminé provenant de la pouponnière lors des bio-essais extérieurs

Lot	Date entrée	Date sortie	Statut initial	Statut final
1	9 septembre 2019	17 septembre 2019	Négatif	Positif
2	19 septembre 2019	8 octobre 2019	Négatif	Positif
3	10 octobre 2019	29 octobre 2019	Négatif	Positif

5.3 Résultats sur les bio-essais intérieurs

Pendant la durée du projet, 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 (Tableau 7).

Tableau 7 Lots exposés à l'air provenant du système d'aérogéothermie lors des bio-essais intérieurs

Lot	Date entrée	Date sortie	Exposition	Débit moyen (L/s)	Statut
76	5 mars 2020	24 mars 2020	12 au 24 mars	50±30*	Négatif
80	28 mai 2020	16 juin 2020	1 ^{er} au 16 juin	174±20**	Négatif
81	19 juin 2020	7 juillet 2020	26 juin au 7 juillet	161±28	Négatif
82	8 juillet 2020	28 juillet 2020	8 au 26 juillet	142±41	Négatif
83	1 ^{er} août 2020	18 août 2020	1 ^{er} au 18 août	124±27	Négatif
84	20 août 2020	8 septembre 2020	20 août au 8 septembre	125±31	Négatif
85	10 septembre 2020	29 septembre 2020	10 au 29 septembre	138±67	Négatif
86	1 ^{er} octobre 2020	20 octobre 2020	1 ^{er} au 20 octobre	128±26	Négatif
87	23 octobre 2020	10 novembre 2020	23 octobre au 6 novembre	131±33	Négatif

*Débit très faible, car la tranchée est couverte de glace.

**Donnée mesurée manuellement avec un manomètre (Kimo, MP200).

5.4 Résultat sur le conditionnement de l'air du système d'aérogéothermie

5.4.1 Impact de l'aérogéothermie sur la température de l'air puisé

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 (Tableau 8).

Tableau 8 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 extérieure 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

Les résultats obtenus sont similaires aux écrits de Williams et Gold (1977) qui mentionnent qu'habituellement, la température moyenne annuelle de l'air est inférieure à celle du sol. Toujours selon ces chercheurs, cette différence est principalement attribuable à l'effet isolant de la couche de neige, bien que des facteurs comme l'évaporation entrent aussi en jeu. L'effet de l'inertie thermique du sol est plus marqué lors du changement des saisons (Tableau 8). 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 42 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.

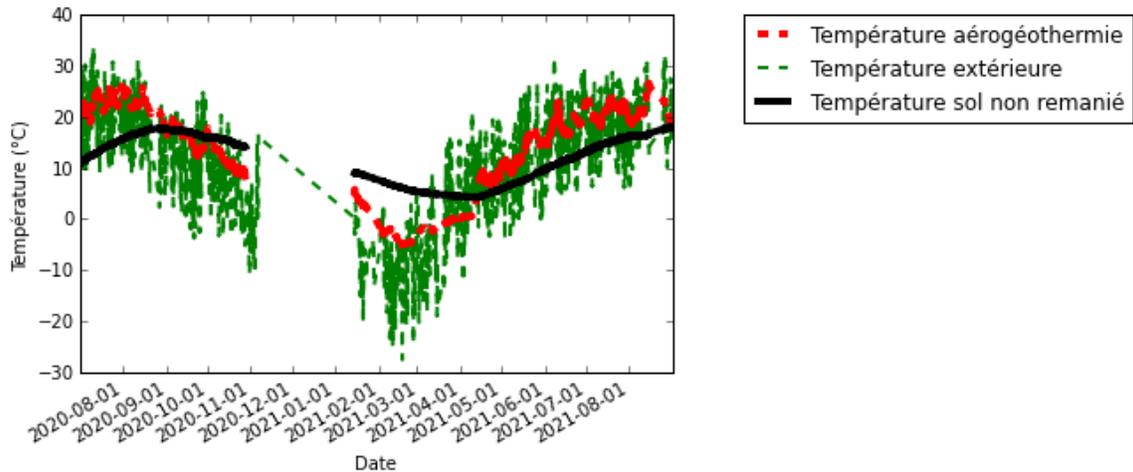


Figure 42 Évolution sur 14 mois des températures du sol non remanié immédiatement sous la tranchée, des températures extérieures et à la sortie du système d'aérogéothermie

Cependant, lorsque l'on regarde l'effet journalier du système d'aérogéothermie sur la température de l'air puisé dans le sol est observé, il est possible de constater que l'air puisé subit beaucoup moins de variations de température que la température extérieure. La Figure 43 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).

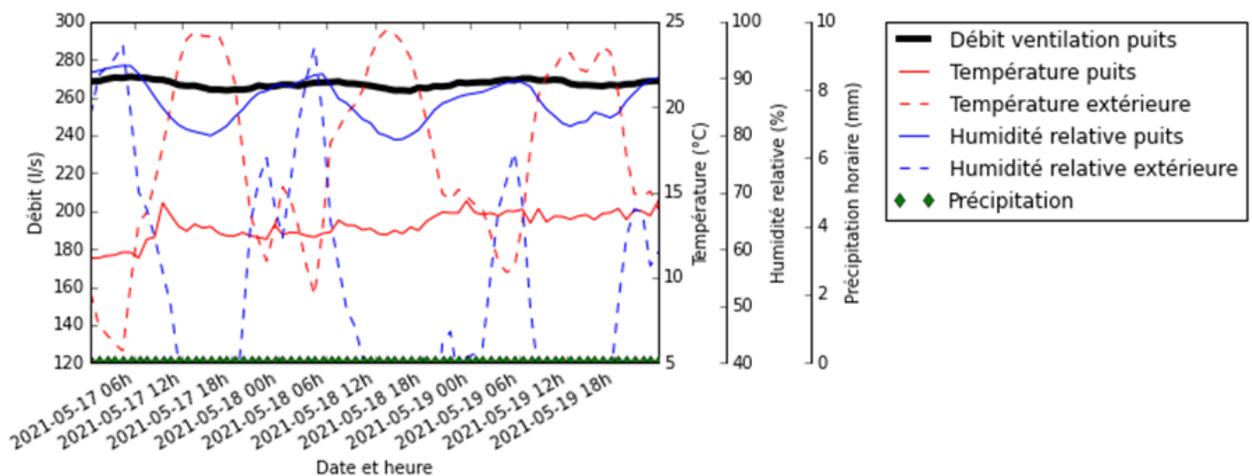


Figure 43 Température de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie ainsi que température extérieure lors d'une journée typique

Aussi, l'effet stabilisateur est plus important lorsque les conditions météorologiques sont extrêmes. Comme le démontre la Figure 44 qui présente les conditions mesurées lors de la canicule du 25 au 27 août 2021, l'air provenant du système d'aérogéothermie avait une température d'environ 21°C pendant toute la canicule. Pendant ce temps, la température

extérieure avait oscillé entre 15°C la nuit et 33°C à la fin de la deuxième journée de canicule. Dans cet exemple, 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. Sur le long terme, ceci présente l'avantage d'élever les animaux à l'intérieur du bâtiment dans leur zone de neutralité thermique (pas de stress thermique dû à la chaleur). Il est ainsi possible que le système apporte un impact positif sur le bien-être animal et sur les performances zootechniques des animaux.

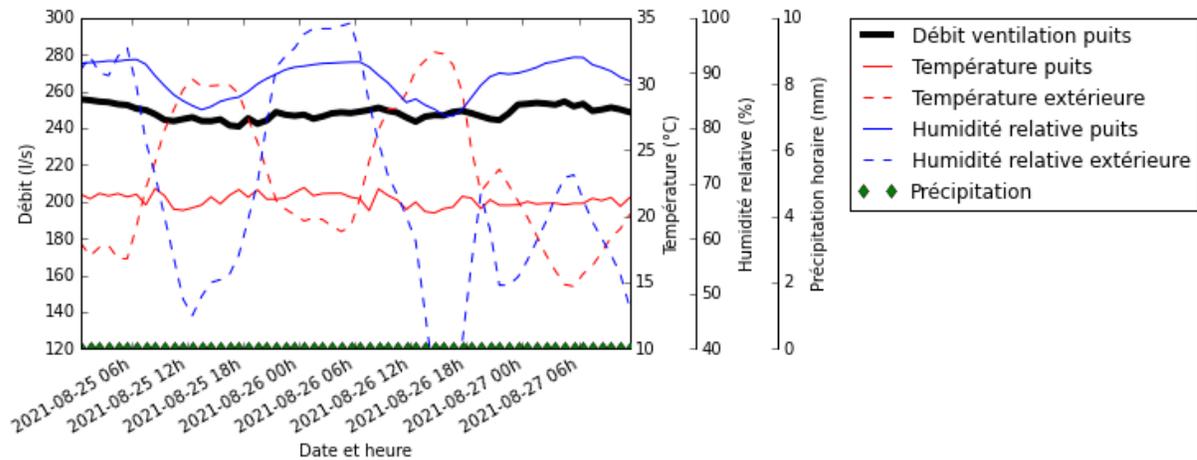


Figure 44 Température, humidité relative et débit de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie en comparaison à l'air extérieur lors de la canicule 25 au 27 août 2021

L'effet stabilisateur et de réchauffement est présenté à la Figure 45. Lors d'une période froide (du 10 au 12 février 2021), l'air provenant du système d'aérogéothermie avait une température entre -4 et -5°C pendant que la température extérieure a varié entre -25 et -5°C. Dans cet exemple, le système d'aérogéothermie a permis de réchauffer l'air entrant de près de 20°C la température de l'air envoyé dans le bâtiment par rapport à l'air extérieur. Des économies sur le coût de chauffage avec l'utilisation de ce système seraient à prévoir, toutefois, une augmentation du débit de ventilation pourrait diminuer le réchauffement de l'air.

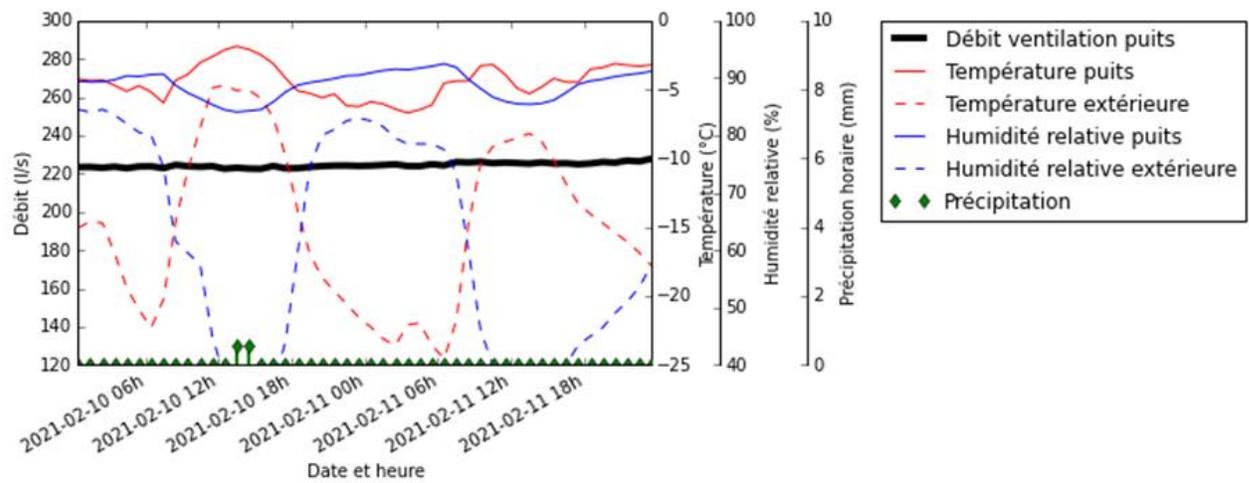


Figure 45 Température, humidité relative et débit de l'air puisé dans le système d'aérogéothermie en comparaison à l'air extérieur lors de grand froid du 10 au 12 février 2021

5.4.2 Impact de l'aérogéothermie sur l'humidité relative de l'air puisé

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 9). Il est également observé que généralement le ratio d'humidité de l'air, correspondant à la masse d'eau contenue 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.

Tableau 9 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 (%)
Juil. 2020	87±7	[77;94]	76	14±3	11±5	+25 %
Août 2020	88±5	[79;95]	81	14±3	10±5	+44 %
Sept 2020	90±6	[81;95]	ND	9±2	ND	ND
Oct. 2020	90±4	[84;94]	82	7±1	5±2	+59 %
Nov. 2020	90±4	[83;93]	75	5±1	3±1	+77 %
Jan. 2021	92±5	[88;99]	86	4±1	2±2	+124 %
Fév. 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 %
Juil. 2021	89±10	[82;94]	81	13±3	10±5	+36 %
Août 2021	89±8	[81;95]	77	13±3	11±4	+22 %

Il faut mentionner que si la tendance se veut à l'humidification de l'air, à certains moments, il est observé que le ratio d'humidité (rapport entre la masse de vapeur d'eau et la masse d'air) n'est pas augmenté par le conditionnement de l'air. L'humidité relative se définit comme le rapport entre la pression 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

atmosphérique 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. Ainsi, le refroidissement de l'air fait augmenter l'humidité relative, mais n'affecte pas le ratio d'humidité. Par 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 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 %.

5.4.3 Débit d'air puisé dans le puits de captation du système d'aérogéothermie

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 10). 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.

Tableau 10 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)
Juillet 2020	251±51	[209;271]	-583±50	[-718;-564]	-101±16	[-168;-81]
Août 2020	227±54	[194;246]	-581±56	[-794;-557]	-91±19	[-196;-74]
Septembre 2020	248±34	[208;269]	-587±51	[-733;-571]	-94±20	[-162;-79]
Octobre 2020	242±38	[207;261]	-603±63	[-893;-538]	-100±23	[-184;-82]
Novembre 2020	257±31	[247;263]	-642±56	[-801;-590]	-162±32	[-220;-110]
Janvier 2021	232±28	[219;239]	-674±51	[-729;-638]	-264±49	[-292;-246]
Février 2021	219±27	[202;229]	-711±55	[-782;-682]	-281±53	[-336;-256]
Mars 2021	161±24	[128;200]	-743±66	[-947;-701]	-460±65	[-616;-234]
Avril 2021	243±52	[167;284]	-691±56	[-793;-650]	-151±24	[-241;-124]
Mai 2021	267±37	[237;277]	-664±66	[-949;-625]	-145±22	[-233;-105]
Juin 2021	248±39	[207;270]	-620±66	[-937;-598]	-104±22	[-170;-83]
Juillet 2021	237±43	[218;255]	-618±68	[-966;-599]	-95±22	[-185;-81]
Août 2021	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.

5.4.3.1 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 (Tableau 11). 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.

Tableau 11 Impact des précipitations sur le débit d'air puisé en lien avec la quantité de précipitation reçue

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 %

Le débit d'air puisé dans le puits de captation est généralement peu influencé par la pluie. En effet, une diminution d'environ 2 % du débit est enregistrée lorsqu'il tombe entre 0 et 20 mm de pluie (28 événements). À trois reprises durant l'étude, il est tombé entre 20 et 30 mm de pluie. À ce moment, la diminution du débit enregistrée a été de 3,7 %. Les 26, 27 et 28 juin 2021, des pluies intenses se sont abattues à la ferme expérimentale de Deschambault. Lors de ces journées, 74.1 mm de pluie sont tombés, tandis que des précipitations supplémentaires comptabilisant 54.7 mm ont été enregistrées seulement quelques jours plus tard.

Cette énorme quantité d'eau tombée en un court laps de temps a un impact important sur le débit qui a alors diminué d'environ 15 %. La diminution du débit est probablement

expliquée par la saturation partielle du sol en eau ce qui réduit les interstices par où l'air peut circuler.

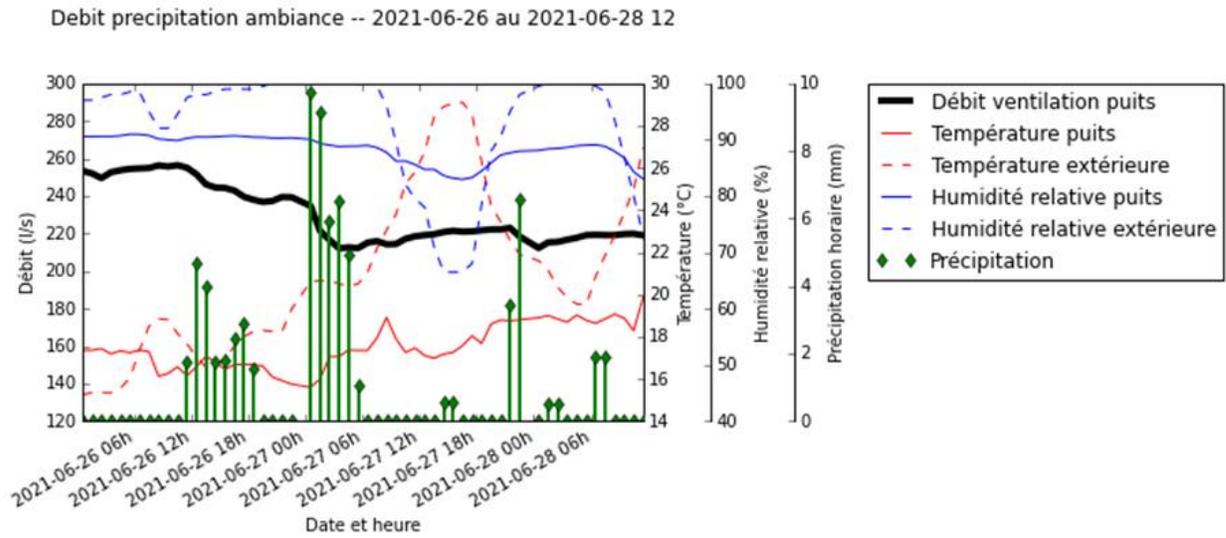


Figure 46 Impact d'une forte précipitation sur le débit et effet résiduel de cet événement

6 Discussion sur le système d'aérogéothermie

6.1 Filtration de l'air et biosécurité

Il fut démontré que des porcelets en santé et naïfs au vSRRP peuvent contracter la maladie lorsqu'ils sont exposés à l'air d'extraction de la pouponnière de la Station de Deschambault logeant des porcelets contaminés à différentes souches de vSRRP et donc qu'au moins une ses souches peut être transmise par des aérosols.

Dans le cadre du projet, il fut observé que l'air aspiré sous les ventilateurs de la pouponnière et filtré par le lit de sable du système d'aérogéothermie n'a jamais contaminé les porcelets logés en quarantaine sur les 9 répétitions réalisées.

6.2 Débit d'air extrait et conditionnement

Lors de la planification du projet, le choix des matériaux composant le puits de captation avait été fait en fonction de l'objectif principal du projet, soit de valider l'efficacité du système d'aérogéothermie à filtrer l'air et ainsi protéger les animaux d'une contamination par aérosols contaminés par des agents pathogènes comme le vSRRP. Le choix de remblayer la tranchée avec du sable filtrant Q2-r22 avait été retenu pour maximiser les chances de réussite de cet objectif et selon la configuration prévue du puits de captation, il devait être possible de puiser un débit d'air intéressant malgré la restriction du sable. Toutefois un problème avec la disponibilité de certains matériaux au moment d'installer le puits a entraîné un changement de conception du puits qui fut également installé plus profondément dans la tranchée.

Le sable filtrant est spécifiquement conçu pour éviter de se colmater, car 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. Comme il a été constaté, le débit d'air aspiré du puits de captation était faible, malgré l'importante pression d'opération exercée par le ventilateur. Le choix de conception de la tranchée en sable filtrant a considérablement nui au débit de ventilation pouvant être aspiré par le puits de captation.

Pour pallier ce problème, il serait intéressant d'évaluer l'utilisation de matériaux plus grossiers pour la conception du puits de captation. Des matériaux comme de la pierre concassée lavée (exemple : 1/2" net, 3/4" net, 1" net, 2" net, etc.) qui, une fois en place, laissent des interstices beaucoup plus grands et permettraient 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 devraient être réalisés pour valider autant l'aspect filtration que l'efficacité de conditionnement de l'air.

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 puits testé dans le cadre du projet. À titre de comparaison, voici les débits minimum et maximum requis par animal selon le type de bâtiment présenté dans le Tableau 12.

Tableau 12 Débit recommandé selon le type de bâtiment et nombre d'animaux dans un bâtiment type 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)	6	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

Le débit minimum permet un changement minimal d'air dans le bâtiment ainsi que d'évacuer les gaz et l'humidité dégagés par les animaux. Il s'agit du débit qui est utilisé pendant la saison froide et qui assure une bonne qualité d'air. Pour ce qui est du débit maximum, celui-ci est utilisé en été et permet d'évacuer la chaleur sensible et l'humidité produites par les animaux. De plus, il permet de créer des courants d'air, aidant les animaux à libérer l'énergie produite par leur métabolisme. Donc avec un débit moyen de seulement 237L/s puisé avec le système d'aérogéothermie, ce débit est très loin des besoins maximaux dans les bâtiments moyens au Québec.

Cependant, il serait possible de revoir à la baisse les besoins en débit maximal pour les différents types de bâtiment. Selon Pouliot et al (2012), il est possible de diminuer les besoins en débit maximal de façon très importante et d'obtenir des performances équivalentes ou meilleures lorsque des systèmes de refroidissement des animaux sont utilisés. (Ventilateurs de recirculation combinés à un système d'aspersion eau sur les animaux (gicleurs ou goutte à goutte). Selon cette étude, une diminution de 53 % du débit a été évaluée en mise bas, 48 % du débit en gestation et 50 % du débit en engraissement.

De plus, les données de conditionnement de l'air du présent projet, où la température maximale enregistrée dans le puits de captation a été de 27°C, et ce, pour une courte période et pour une surface du puits de captation sans végétation (selon Williams et Gold (1977), la végétation permet de diminuer la température à la surface du sol), permettent de croire que le système d'aérogéothermie a le potentiel de diminuer les stress thermiques en été, au même titre qu'un échangeur terre-air conventionnel.

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 lorsque le système d'aérogéothermie serait utilisé en combinaison avec des systèmes de refroidissement des animaux. Cependant, avec les débits puisés actuellement, l'écart est quand même trop important pour aller de l'avant avec le système actuel.

7 Conclusion

Il a été observé que le système d'aérogéothermie permet de filtrer l'air et ainsi éviter la contamination des animaux au vSRRP. De plus, 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, ce qui est un avantage certain pour le confort et le bien-être des animaux. Cependant le système d'aérogéothermie est sensible aux conditions météorologiques, de faibles baisses de débit sont observées lors de précipitations abondantes alors que la fonte des neiges diminue de beaucoup le débit puisé dans le sol. Pour être plus adapté pour 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.

8 Références

Alonso, C., Murtaugh, M.P., Dee, S.A. et P.R. Davies. 2013. Epidemiological study of air filtration systems for preventing PRRSV infection in large sow herds. *Preventive Veterinary Medicine*, 112 : 109-117.

Bisoniya, T.S., Kumar, A. et P. Baredar. 2014. Study on Calculation Models of Earth-Air Heat Exchanger Systems. *Journal of Energy* : 15 p.

Dee, S., Pitkin, A., Otake, S. et J. Deen. 2011. A four-year summary of air filtration system efficacy for preventing airborne spread of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and *Mycoplasma hyopneumoniae*. *Journal of Swine Health and Production*, 19(5) : 292-294.

Dee, S.A., Otake, S., Oliviera, S. et J. Deen. 2009. Evidence of long distance airborne spread of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and *Mycoplasma hyopneumoniae*. *Veterinary Research*, 40 : 39.

Godbout, S. et V. Minea. 2000. Étude visant à démontrer l'efficacité énergétique de la géothermie et de la récupération de chaleur en production porcine. Rapport final. Québec : CDPQ, 22 p.

Guimont, H., Pouliot, F., Leblanc, R. et S. Godbout. 2004. Évaluation de l'efficacité technique et économique d'un mur solaire dans un bâtiment d'élevage porcin. Québec : CDPQ, 50 p.

Klopfenstein, C. 2016. Les outils pour le contrôle du SRRP. Journée provinciale Réseau Santé Montérégie, 21 janvier.

Leson, G. et A.M. Winer. 2012. Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology For VOC Emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 41(8) : 1045-1054.

Mathsen, D. 2004. Evaluating compost and biofilter aeration performance. *BioCycle*, 45(6)

Nelson, M. et H.L. Bohn. 2011. Soil-Based Biofiltration for Air Purification: Potentials for Environmental and Space Life Support Application. *Journal of Environmental Protection*, 2 : 1084-1094.

Pouliot, F., Dufour, V., Turcotte, S., Morin, M., Ricard, M.A., Ménard, J. et B. Laplante. 2012. Développer des concepts de ventilation permettant de minimiser les débits d'air requis durant la période estivale en maternité et en engraissement. Rapport. Québec : CDPQ, 86 p.

Pouliot, F., Ricard, M.A. et V. Dufour. 2011. Système de filtration d'air pour bâtiments porcins canadiens. Guide technique. CDPQ; CCSP, 32 p.

Ricard, M.A., Gobeil Tremblay, E., Dufour, V. et F. Pouliot. 2013. La filtration d'air dans les bâtiments porcins : état de la situation. *Revue de littérature*. Québec: CDPQ, 33 p.

Vitt, R., Weber, L., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S.J., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Anders, I, Andre, K., Hennig-Pauka, I., Schönhart, M. et G. Schaubberger. 2017. Modelled performance of energy saving air treatment devices to mitigate heat stress for confined livestock buildings in Central Europe. Biosystems Engineering, 164 : 85-97.

Annexe 1

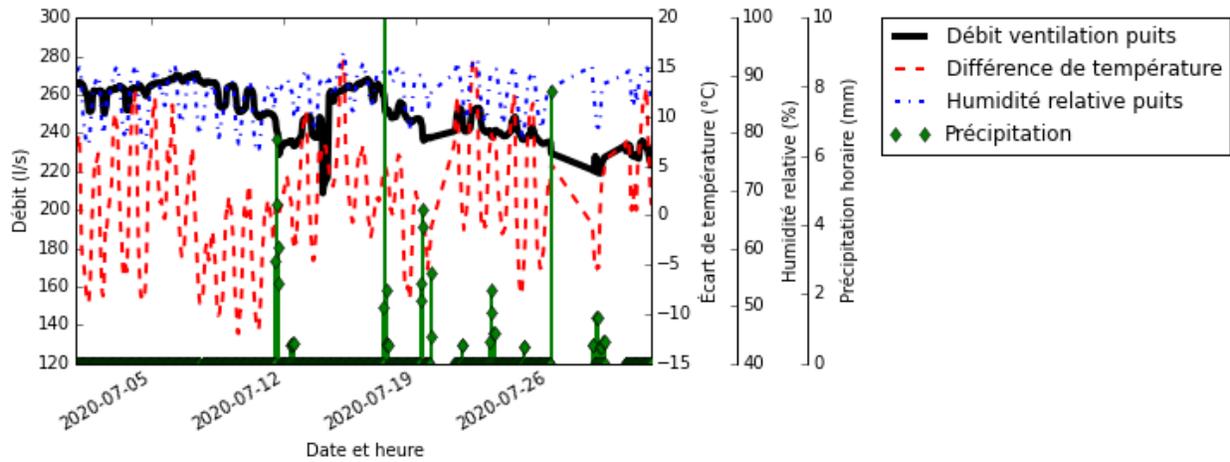


Figure 47 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de juillet 2020

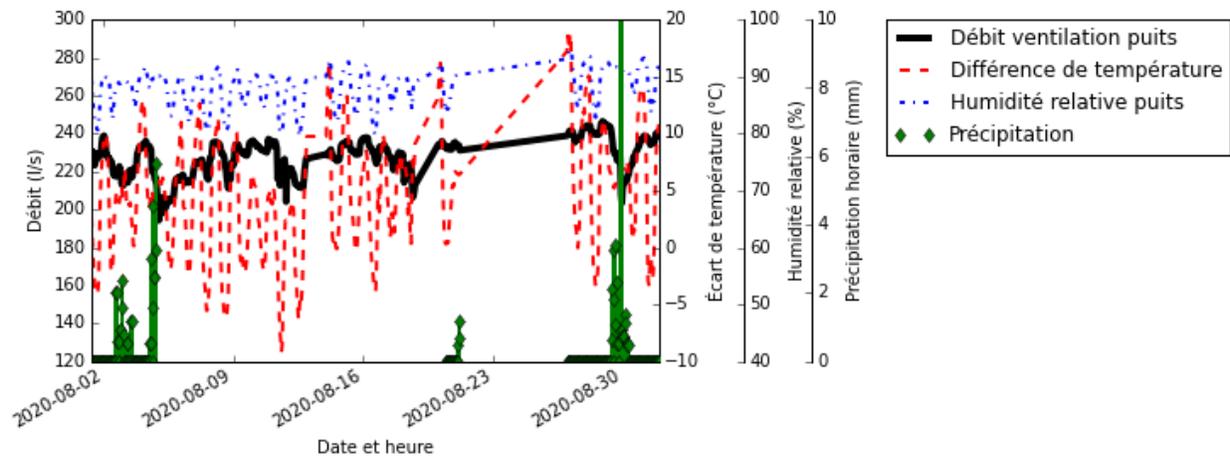


Figure 48 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois d'août 2020

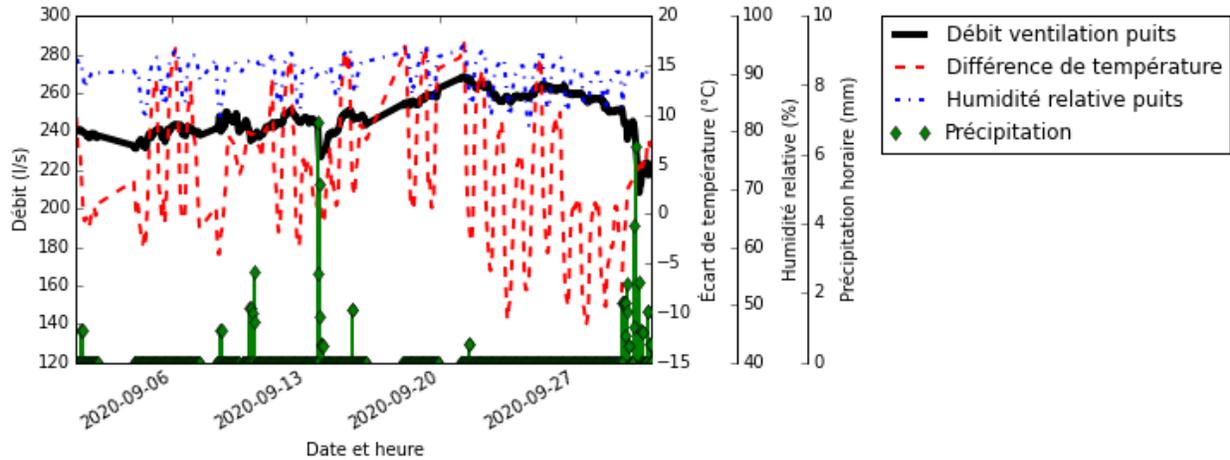


Figure 49 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de septembre 2020

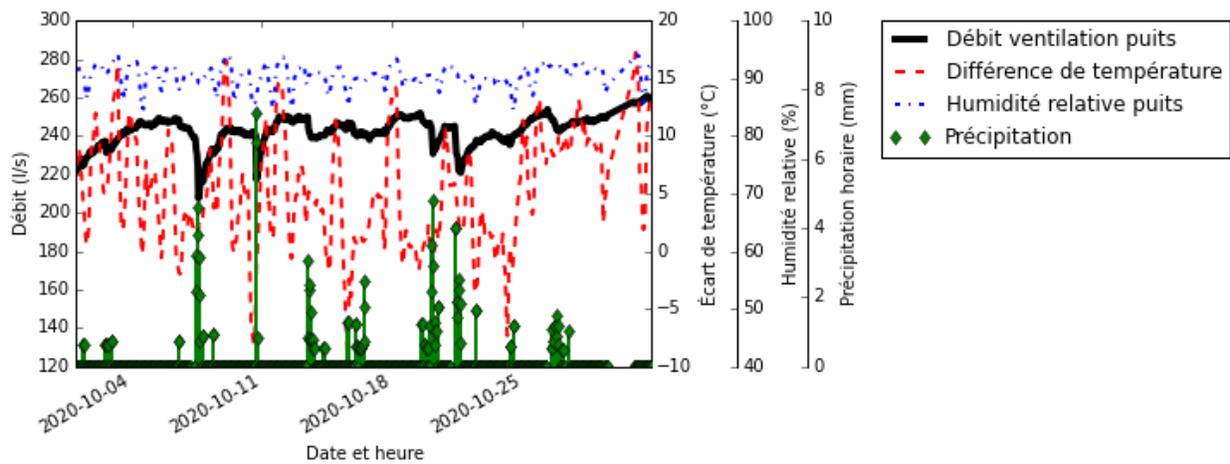


Figure 50 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois d'octobre 2020

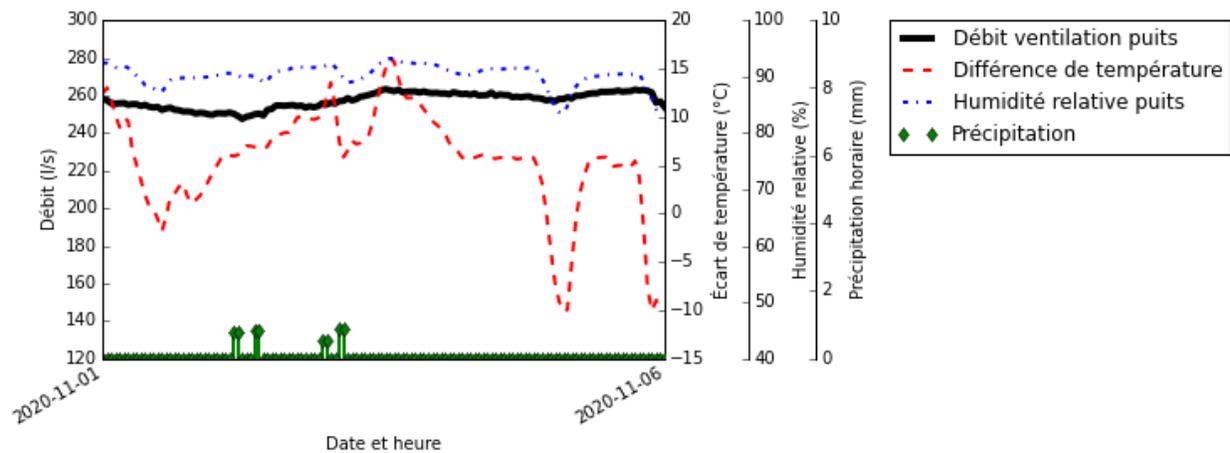


Figure 51 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de novembre 2020

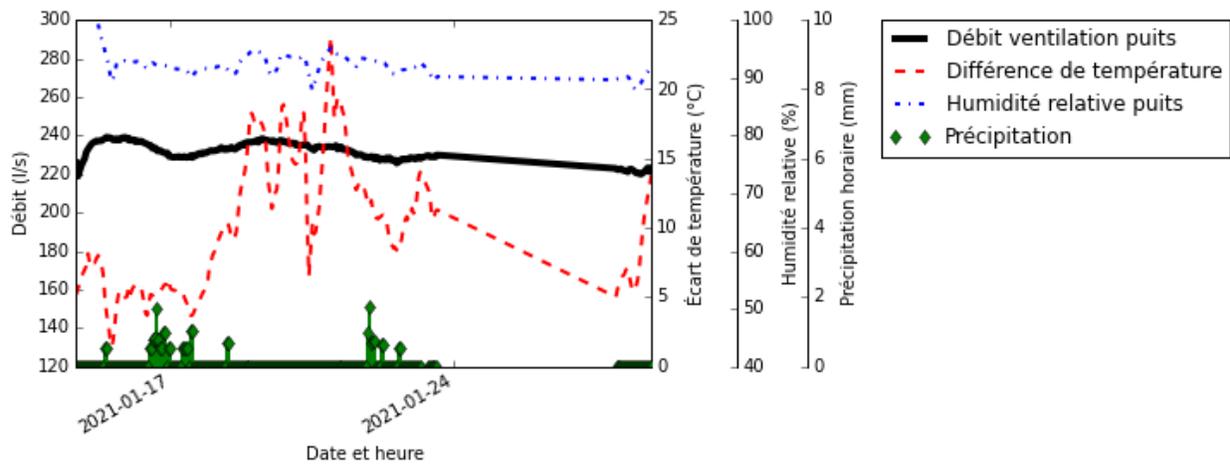


Figure 52 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de janvier 2021

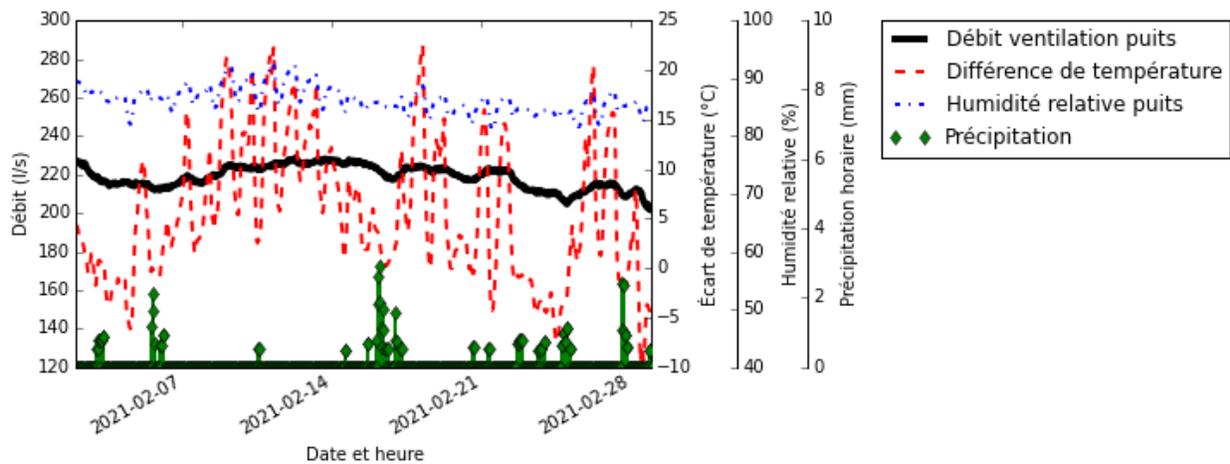


Figure 53 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de février 2021

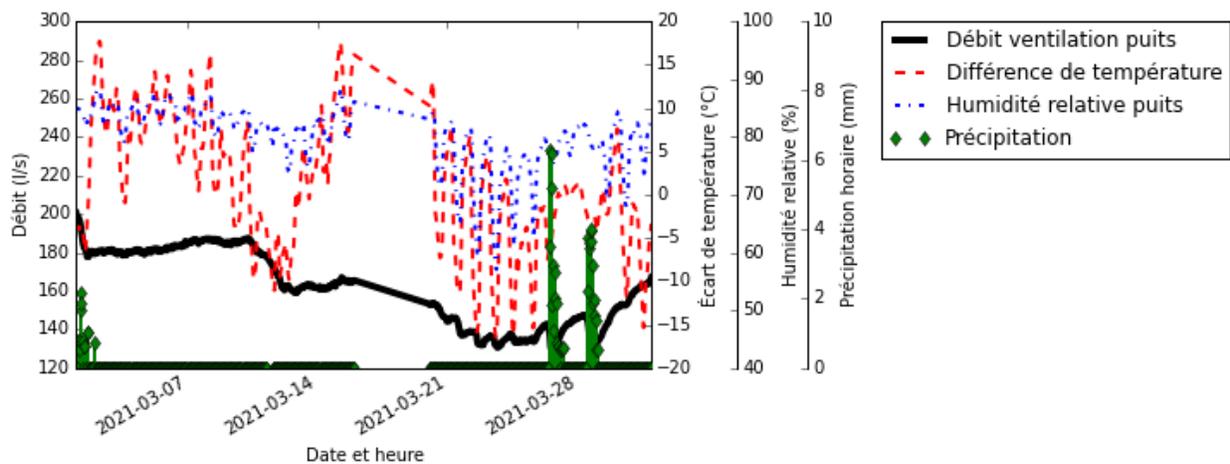


Figure 54 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de mars 2021

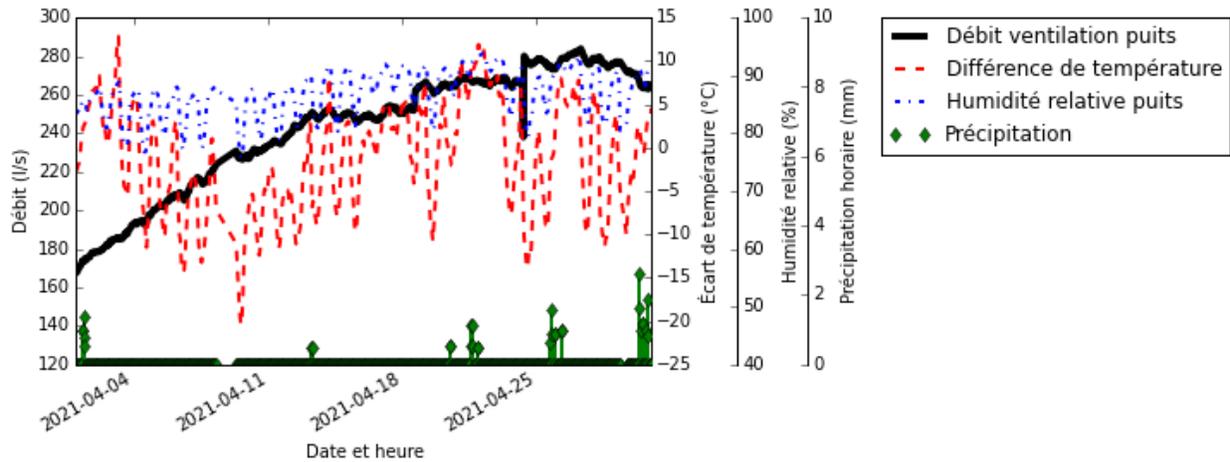


Figure 55 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois d'avril 2021

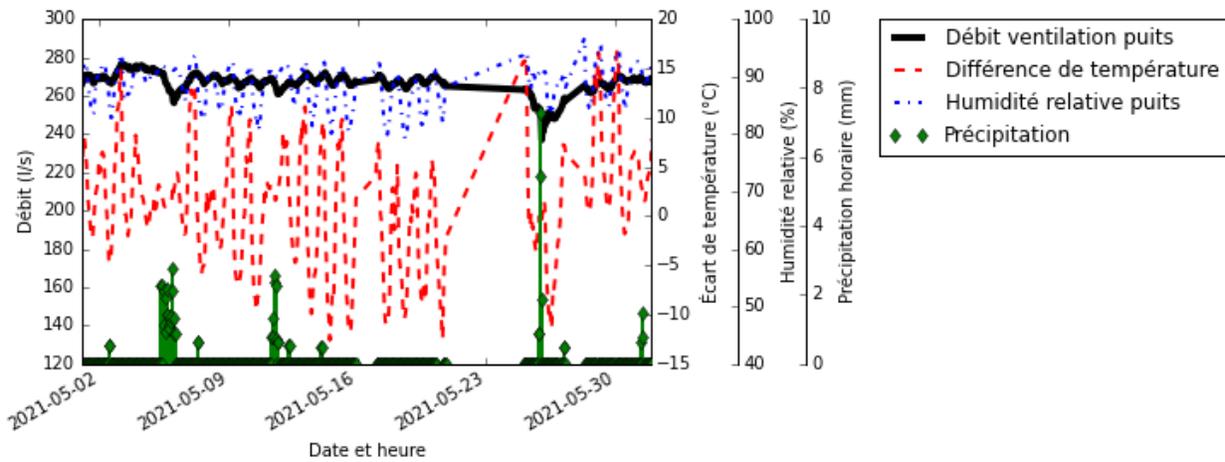


Figure 56 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de mai 2021

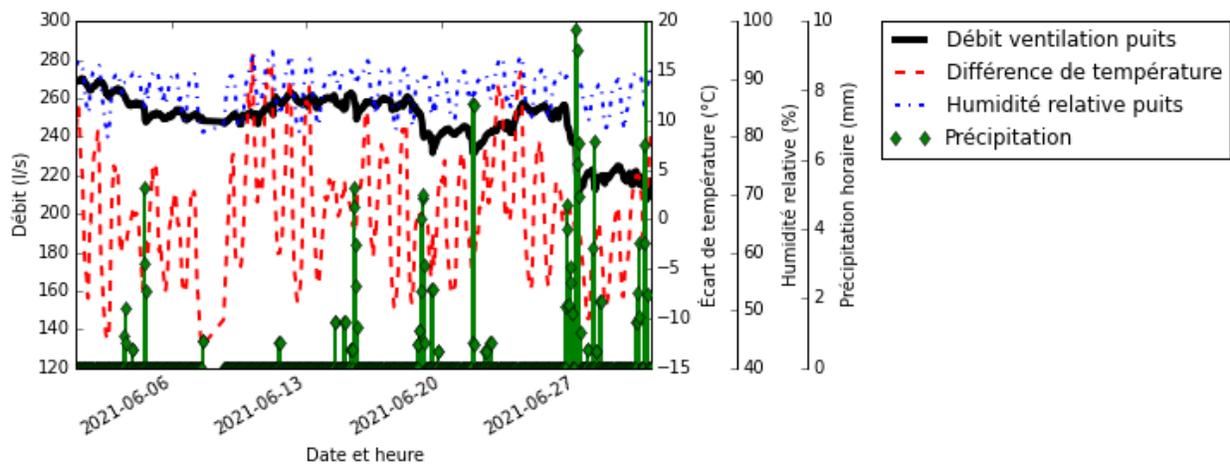


Figure 57 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de juin 2021

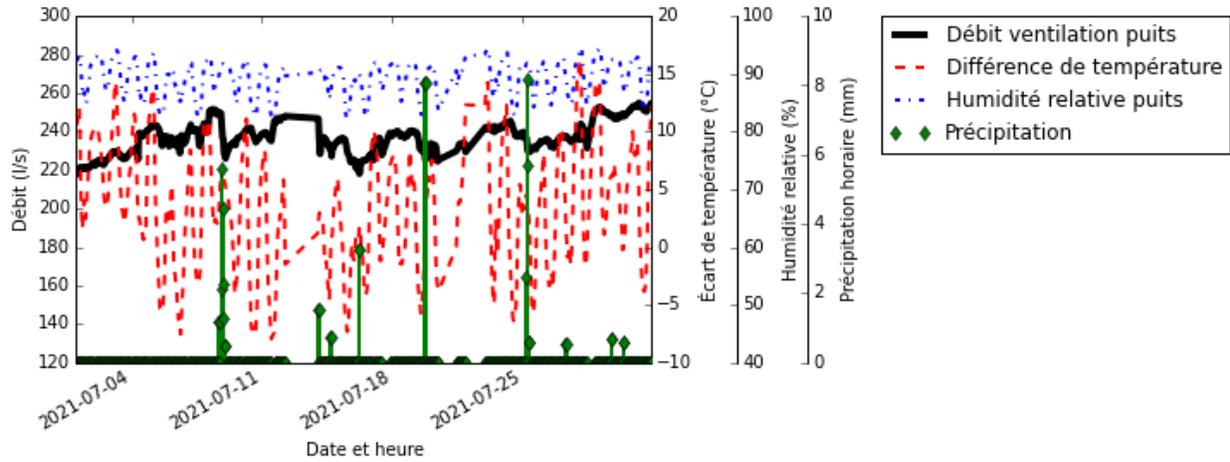


Figure 58 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois de juillet 2021

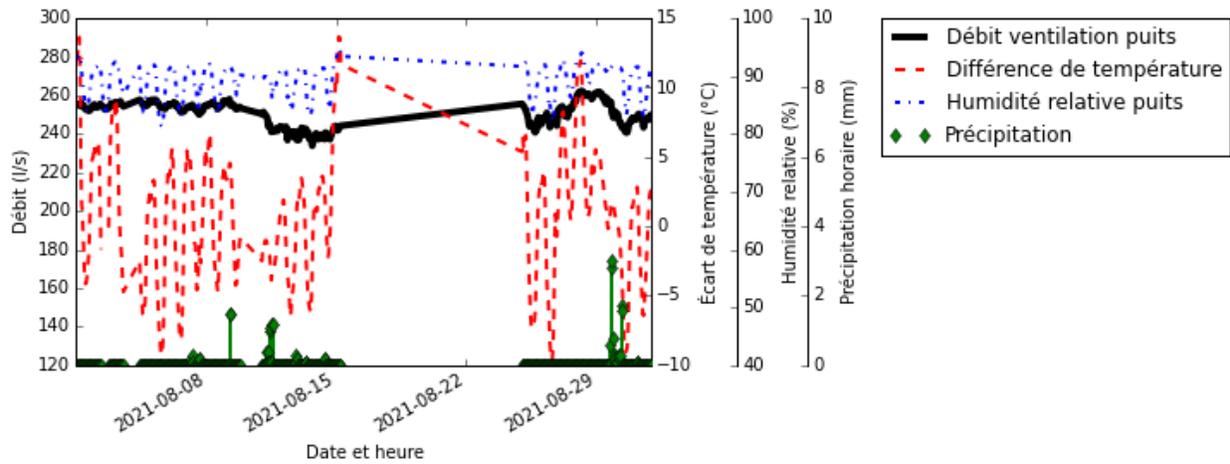


Figure 59 Débit d'air puisé, écart de température entre l'air extérieur et l'air puisé, humidité relative de l'air puisé et hauteur de précipitations observées pour le mois d'août 2021

Annexe 2

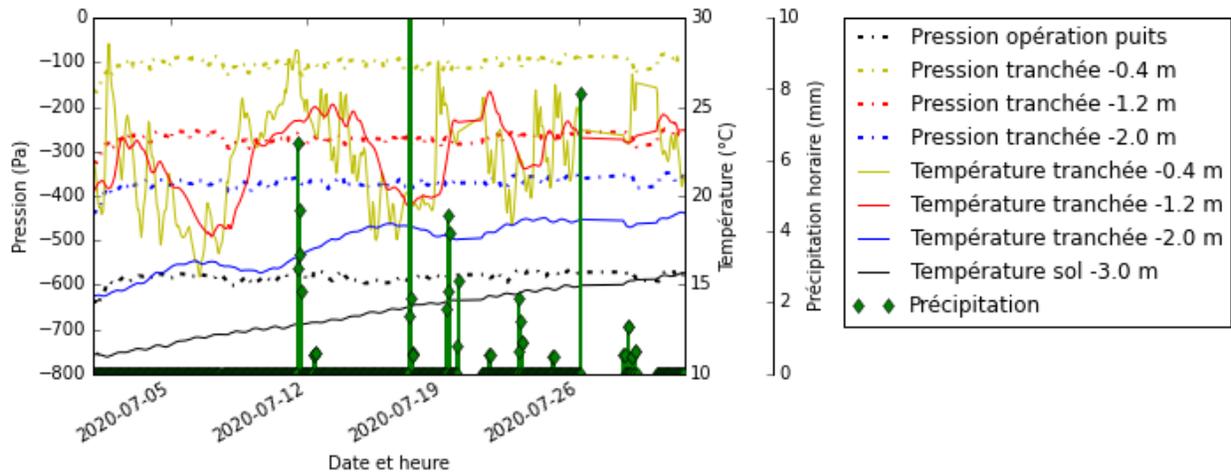


Figure 60 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de juillet 2020

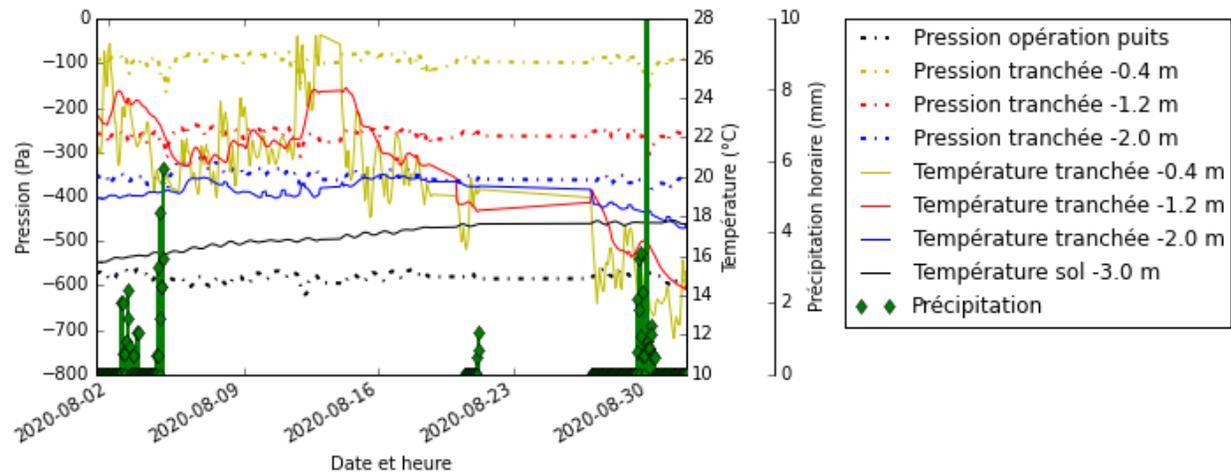


Figure 61 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois d'août 2020

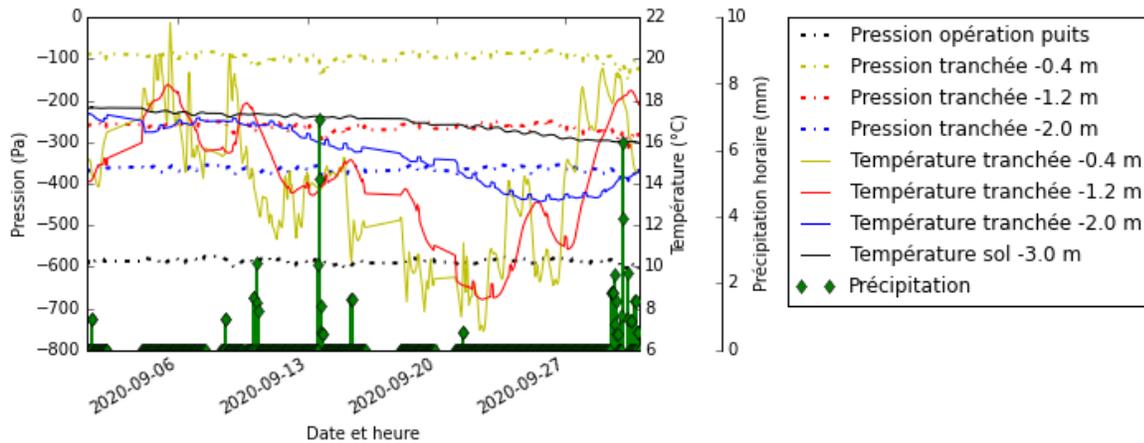


Figure 62 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de septembre 2020

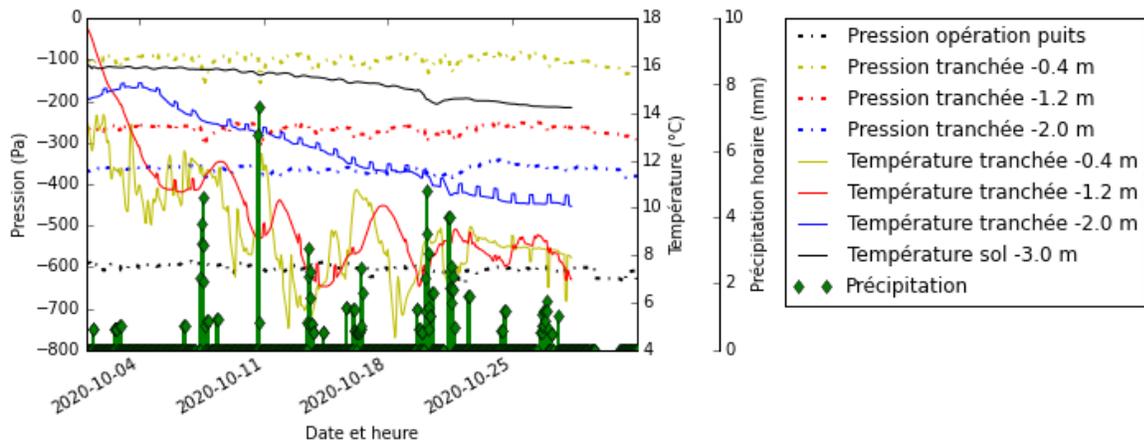


Figure 63 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois d'octobre 2020

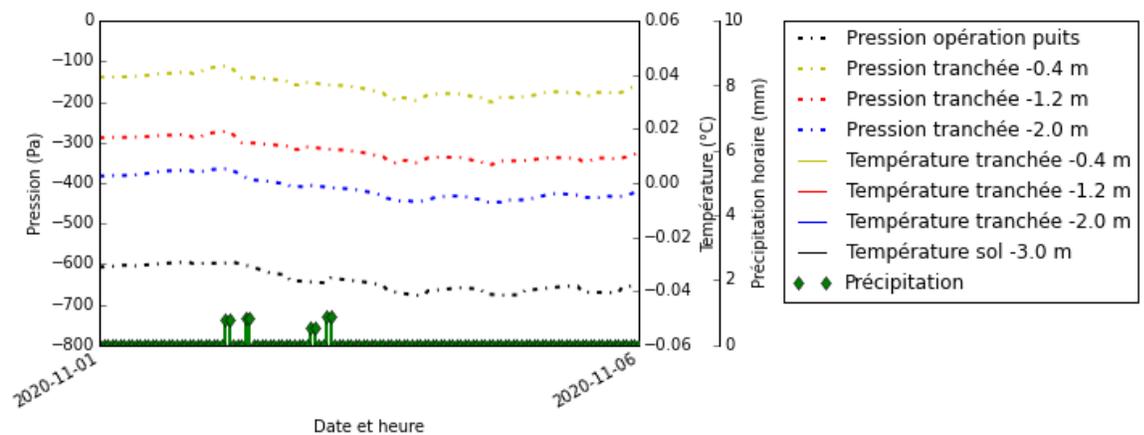


Figure 64 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de novembre 2020

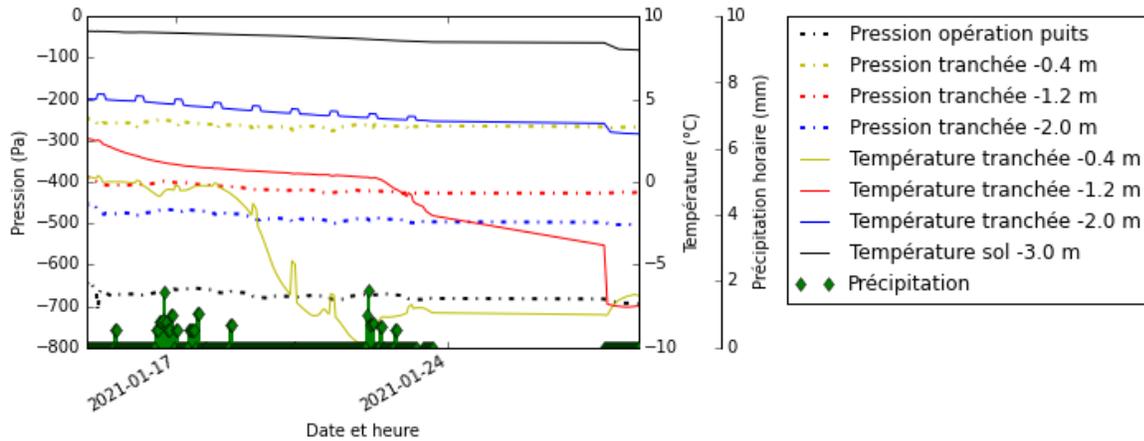


Figure 65 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de janvier 2021

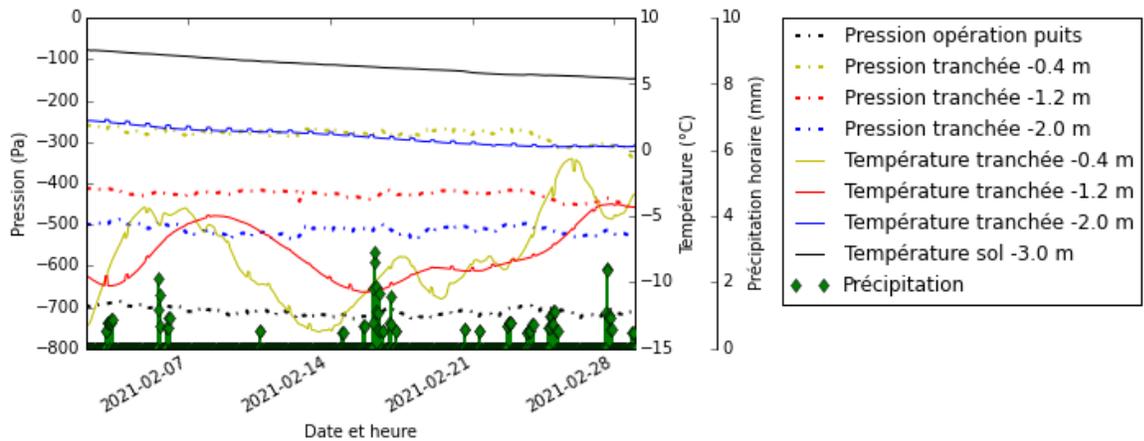


Figure 66 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de février 2021

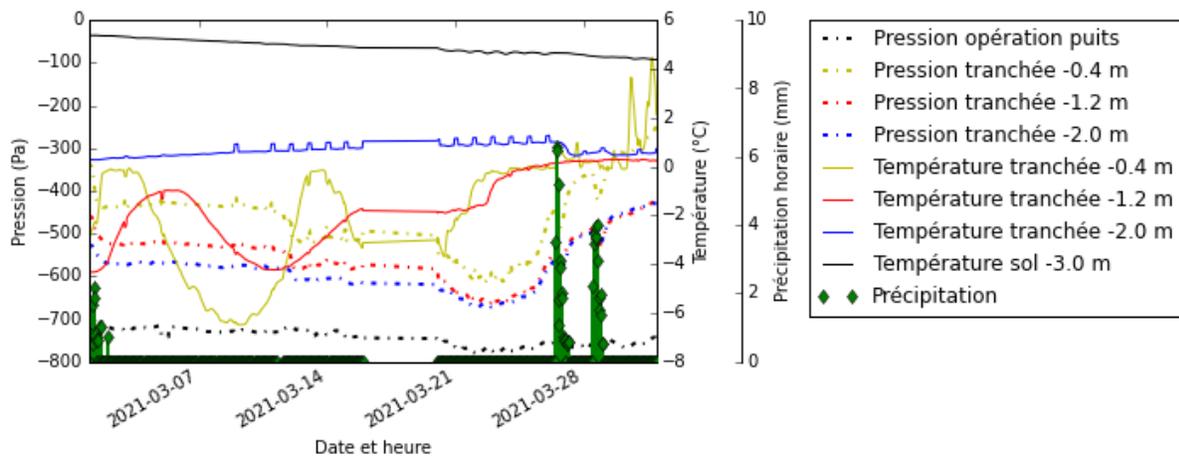


Figure 67 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de mars 2021

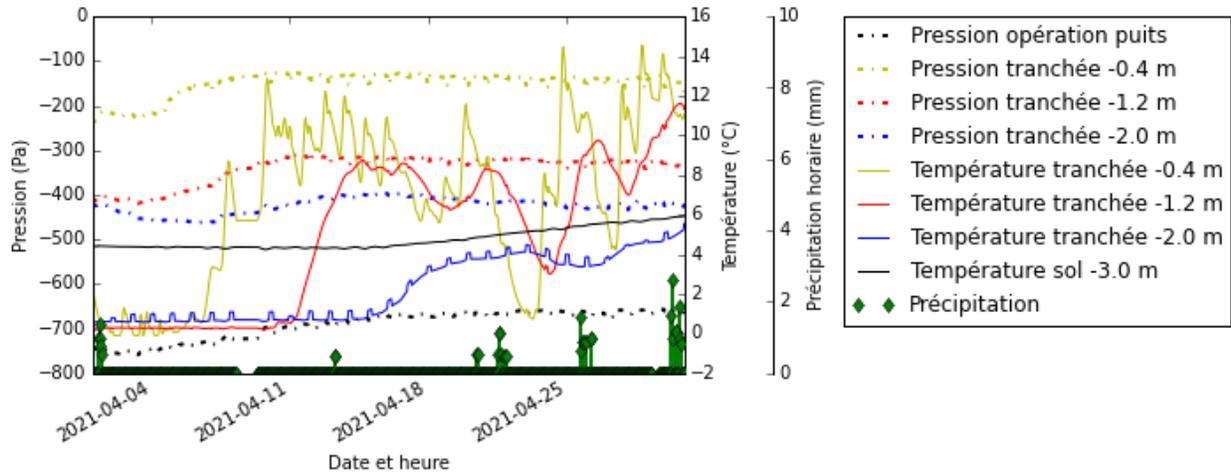


Figure 68 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois d'avril 2021

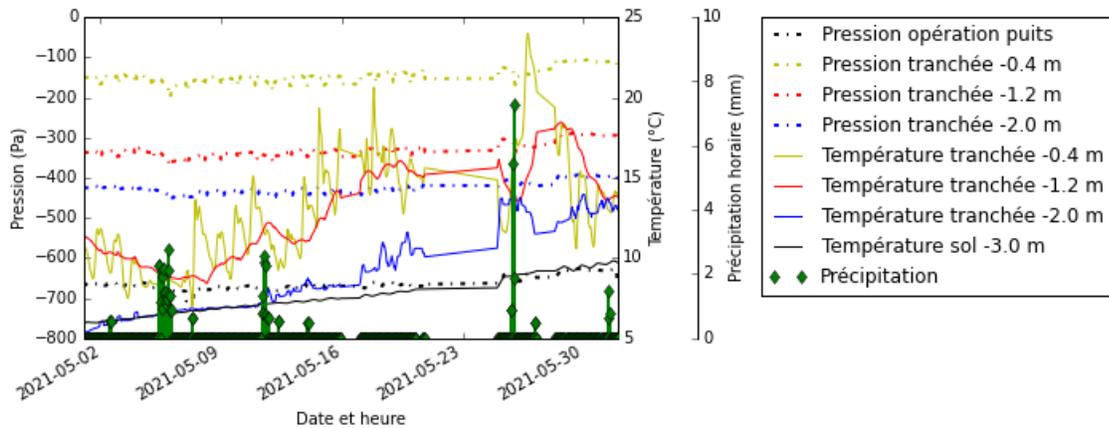


Figure 69 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de mai 2021

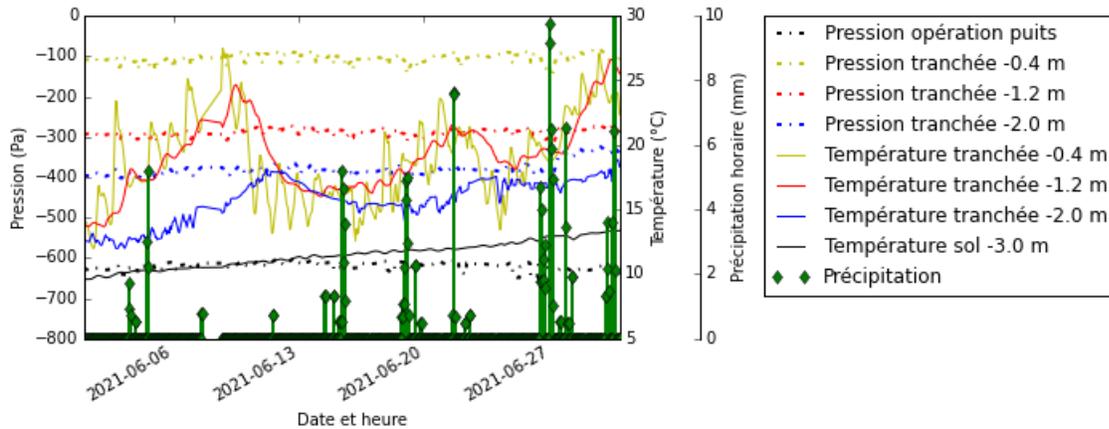


Figure 70 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de juin 2021

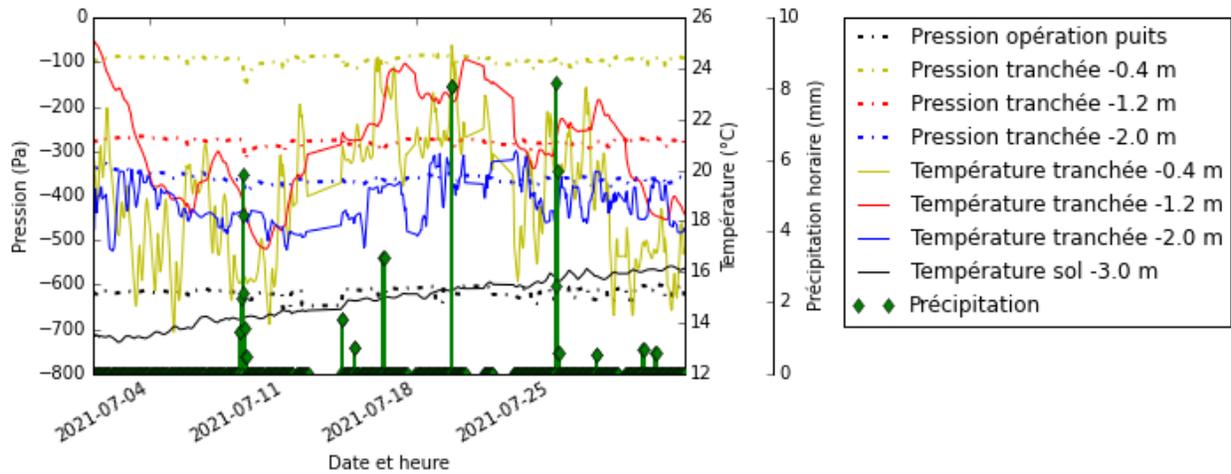


Figure 71 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois de juillet 2021

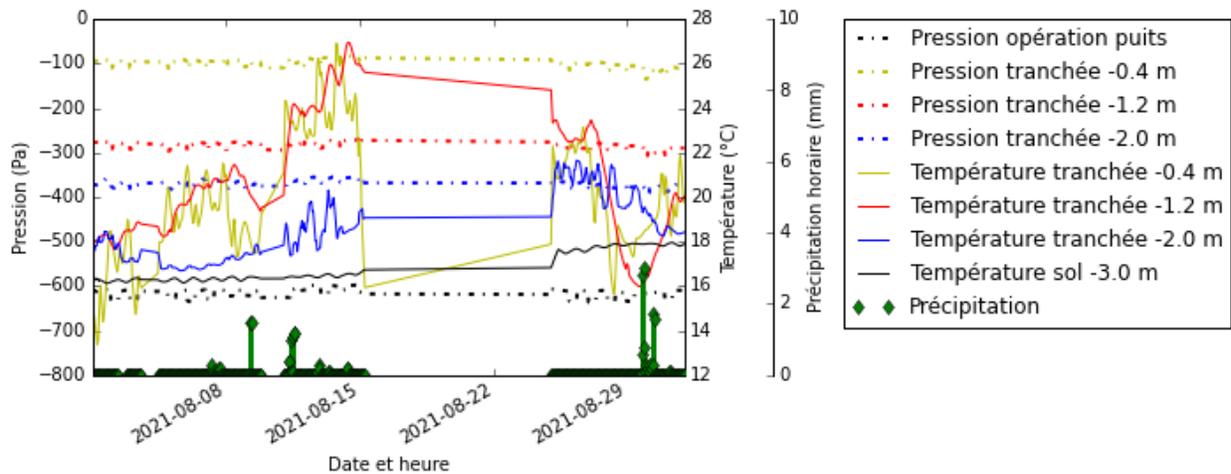


Figure 72 Pression d'opération du puits de captation, pression moyenne à différentes profondeurs de la tranchée, température à différentes profondeurs de la tranchée, température du sol non remanié sous la tranchée et hauteur de précipitation horaire, observées pour le mois d'août 2021



Centre de développement du porc du Québec inc.
Place de la Cité, tour Belle Cour
2590, boulevard Laurier, bureau 450
Québec (Québec) G1V 4M6

☎ 418 650-2440 • 📠 418 650-1626

cdpq@cdpq.ca • www.cdpq.ca

 @cdpqinc

