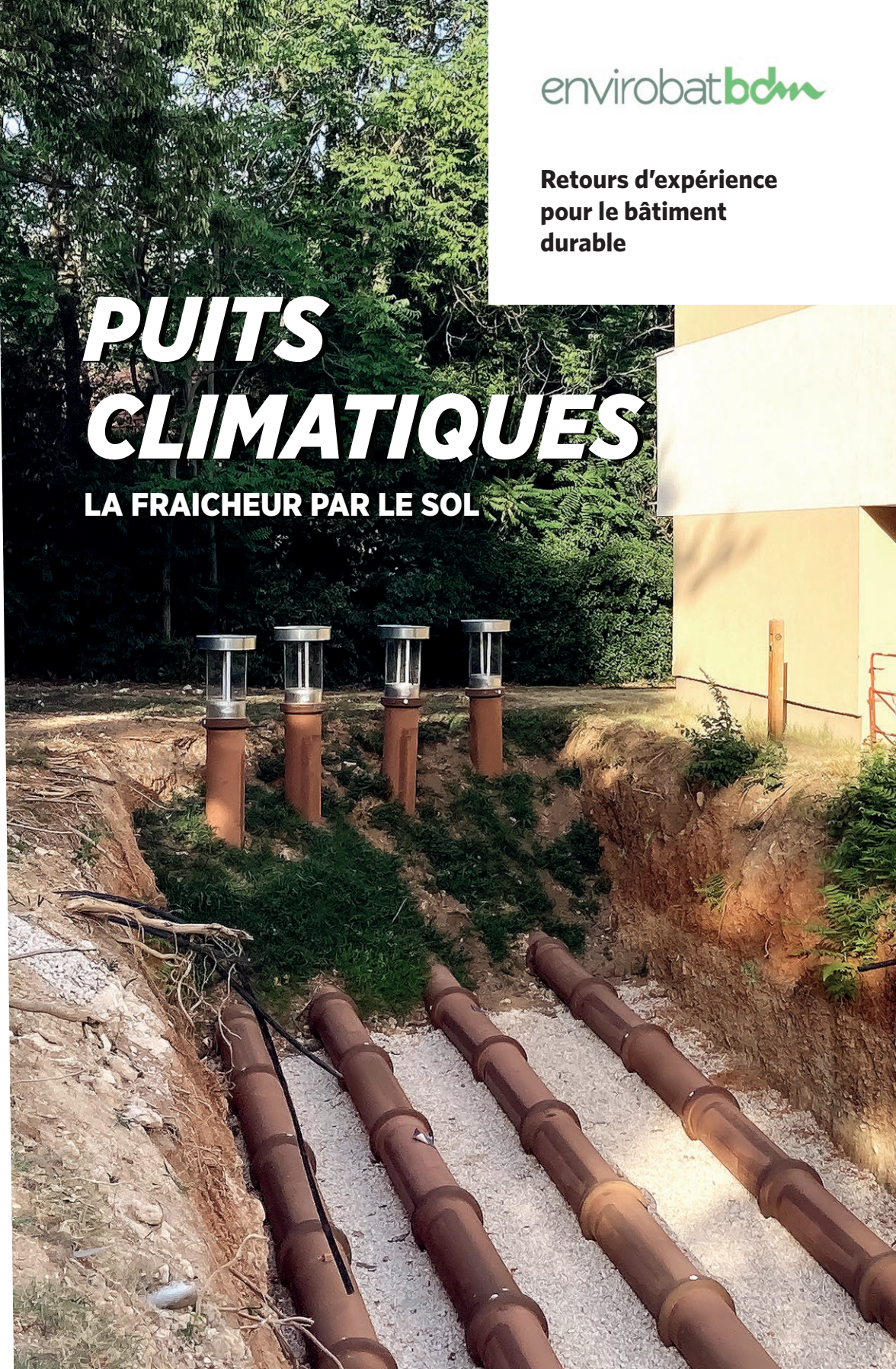


**Retours d'expérience
pour le bâtiment
durable**

PUITS CLIMATIQUES

LA FRAICHEUR PAR LE SOL



PUITS CLIMATIQUES

LA FRAICHEUR PAR LE SOL RETOURS D'EXPÉRIENCE

Date de publication : Janvier 2026

Réalisation : Cédric Gentil (Sowatt), Carlos Vazquez et Hannah Höfte (EnvirobatBDM)

Photo couverture : Direction régionale de l'INSERM, Marseille. Bureau Architecture Méditerranée,
BET i-tech ©Bureau Architecture Méditerranée

À retenir
de l'étude 7

La checklist
des bonnes
pratiques 8

SOMMAIRE

Introduction

Rafrachir naturellement : un enjeu essentiel	11
Principe de fonctionnement	12
Problématiques et objectifs de l'étude	13
Glossaire	14

Analyse des neuf projets

Cartographie des projets	16
Tableau comparatif	18
Méthodologie	21
Analyse par projet	22
1- Espace muséal (06)	22
2- Halle commerciale (04)	26
3- Maison individuelle (05)	30
4- Immeuble de bureaux (13)	34
5- Maison individuelle (06)	38
6- Immeuble de bureaux 2 (13)	42
7 & 8- Logements collectifs (83)	46
9- Centre médico-social (84)	50

Compléments

Synthèse d'ordres de grandeurs	55
Quelques graphiques clés	56
Ce que nous enseigne la STD	57
Limites de notre étude	60
Pour aller plus loin	61

QUI SOMMES NOUS ?

EnvirobatBDM

EnvirobatBDM est un **centre de ressources** qui rassemble les professionnels de la construction et de l'aménagement en région Provence-Alpes-Côte d'Azur depuis plus de vingt ans. Ses acteurs et actrices font fructifier les connaissances, **les bonnes pratiques et les innovations** dans le domaine de l'aménagement, de la réhabilitation et de la construction durables en région méditerranéenne.

L'association est partie du postulat qu'il est primordial d'évaluer ses opérations pour mieux évoluer ensemble, en partageant les retours d'expériences. Elle a ainsi développé des outils adaptés grâce à l'intelligence collective.

Les maîtres d'ouvrage, maîtres d'oeuvre, entreprises de réalisation, fabricants et fournisseurs de matériaux adhérents d'EnvirobatBDM dialoguent avec les utilisateurs pour valider leurs retours d'expériences. L'association propose ses services aux collectivités, bailleurs et promoteurs pour optimiser leurs projets durables dans un contexte méditerranéen. Chaque interlocuteur bénéficie, dans un écosystème de confiance, d'une expertise technique et humaine pour réaliser des bâtiments et quartiers d'une grande qualité environnementale.

Compétences de l'association :

- **Centre d'évaluation**
Pour accompagner et évaluer les projets de bâtiments et de quartiers ainsi que les actions novatrices.
- **Centre de ressources**
Pour assurer une veille technique et dynamique sur les sources d'informations, capitaliser la matière issue de l'expérience des professionnels et la diffuser lors d'évènements.
- **Centre de formation**
Pour amplifier la généralisation du bâtiment durable en s'adressant à tous les corps de métier, et mobiliser le plus grand nombre d'acteurs.

La diffusion des connaissances et des bonnes pratiques repose sur la formation, l'animation des réseaux de professionnels (conférences, rencontres d'acteurs, visites et voyages d'étude) et la diffusion des ressources et des publications (fiches d'opérations, fiches retours d'expériences, rapports thématiques).

Actions de retour d'expérience

Avec plus de 700 projets ayant suivi la démarche BDM, la mise en place d'un dispositif formalisé et systématique de capitalisation des retours d'expérience (REX) répond aux besoins des adhérents de l'association ainsi qu'aux professionnels du bâtiment en général, dans le but d'une amélioration continue pour la montée en compétences des acteurs.

Cette action s'organise en 4 temps :

1. Choix du sujet (en lien avec les retours issus des projets BDM)
2. Phase de recherche et enquête des opérations sur une dizaine de sites
3. Phase de production
4. Phase de diffusion

Depuis 2016, EnvirobatBDM produit un rapport «Retour d'expérience» par an. Ceux-ci sont tous disponibles en ligne sur notre EnviroBOITE.



Une étude en lien avec l'Ademe

En parallèle de notre travail, l'Ademe démarre en 2026 une étude qui vise à mettre à jour les connaissances sur les solutions de puits climatiques. Un travail conjoint entre EnvirobatBDM et l'Ademe a été réalisé en amont pour définir les indicateurs techniques et financiers à recueillir dans le cadre des études, afin de pouvoir ultérieurement mettre en commun les retours d'expérience. In fine, les conclusions et recommandations issues des évaluations permettront, le cas échéant, d'envisager une ouverture du fonds chaleur aux solutions de puits climatiques.

Référent technique de l'étude

Cédric Gentil est ingénieur et cogérant avec Sophie Gentil du BET en qualité environnementale du bâtiment Sowatt. Celui-ci est spécialisé sur les problématiques liées à la construction bioclimatique sur l'arc méditerranéen et sur l'adaptation au changement climatique des projets d'aménagement ou de bâtiments. Il travaille sur toutes les solutions passives de maîtrise des confort (été, hiver, visuel, qualité de l'air) et de performance énergétique. Il intervient comme AMO, au sein d'équipes de maîtrise d'œuvre sur des bâtiments publics ou privés, à travers des démarches volontaires ou des certifications environnementales.



À retenir de notre étude



Nous nous sommes intéressés au puits climatique en conditions estivales donc dans sa contribution au confort d'été.

Le puits climatique est un système simple, fiable et robuste (peu de vieillissement). Les défauts de performance rencontrés sont tous liés aux systèmes techniques auxquels il est connecté : by-pass mal piloté, ventilateur ou CTA mal dimensionnés.

La performance du puits est étroitement liée à sa conception (implantation, longueur, profondeur) et peut varier fortement avec les systèmes associés : by-pass, ventilation mécanique double flux, longueur des réseaux. Sur les neuf puits étudiés, les plus performants s'avèrent les plus simples : ventilation simple flux par insufflation sans by-pass.

Un puits climatique n'est pas une climatisation. Les transferts d'énergie entre le sol et le bâtiment se faisant par l'air, les puissances en jeu sont modestes. La fraîcheur apportée par le puits peut permettre de compenser les entrées de chaleur dans le bâtiment, à condition que ce flux de chaleur soit réduit. **L'utilisation d'un puits climatique pour le confort d'été est donc pertinente dans le cadre de bâtiments parfaitement bioclimatiques,** dont la conception minimise les entrées de chaleur (protégés du soleil, bien isolés, avec de l'inertie...).

Le puits s'inscrit parfaitement dans une **logique de confort d'été passif**, associé à des brasseurs d'air, avec une température intérieure maximum admissible de 28°C. Dans cette configuration, le puits est à son rendement maximal.

Dans la logique du confort d'été, **le puits climatique est pertinent pour des bâtiments dont l'activité est diurne** (tertiaires,

équipements). Il permet de maîtriser la température d'air de renouvellement en journée, et contribue à évacuer les émissions internes. De nuit, la ventilation naturelle sera toujours plus efficace que le puits pour décharger le bâtiment.

Le puits climatique permet de limiter les consommations d'énergie d'une éventuelle climatisation. Cependant, l'économie en coût d'énergie permise par le puits compensera difficilement son coût d'investissement. Celui-ci permettra en revanche de contribuer au confort d'été en toute circonstance et d'offrir au bâtiment une résilience climatique en cas de défaillance des systèmes de traitement thermique.

La décharge nocturne du puits (sans by-pass) semble contribuer à la stabilité de la température en sortie du puits et contribuer à son efficacité constante au cours de l'été.

Certains indicateurs semblent favoriser la performance du puits :

- Une surface active réfléchissante
- Une surface active ombragée ou arrosée
- Une profondeur de 3 m
- Une longueur de réseau sous terre de plus de 40 m
- Une prise d'air à l'ombre

Certains indicateurs semblent dégrader la performance du puits :

- Une ventilation mal dimensionnée qui nécessite l'ouverture du by-pass en compensation
- Un by-pass non étanche ou dont la régulation n'est pas adaptée
- Une prise d'air foncée au soleil
- Une surface active surchauffée (au soleil, proche d'une façade blanche)
- Des réseaux trop courts (<40 m) et pas assez profonds (2 m)

La checklist des bonnes pratiques



POINTS DE VIGILANCE EN PHASE CONCEPTION

Le bâtiment a une activité diurne, avec des émissions de chaleur internes importantes (fort taux d'occupation ou informatique), rendant alors l'installation d'un puits climatique pertinente.

☒ ☒

La température intérieure maximum admissible est de 26 à 28°C. En effet, le puits climatiques n'aura pas d'intérêt si le bâtiment est climatisé à une température qui sera, en été, en dessous de la température de soufflage du puits.

☐ ☐

La conception du bâtiment est bioclimatique. Il minimise les apports solaires en journée, il a une bonne isolation thermique, une bonne étanchéité à l'air et peu d'entrée d'air en journée (ou via un sas thermique).

☐ ☐

Le puits est implanté au Nord ou à l'Est du bâtiment, avec des prises d'air ombragées. Sa surface active est, si possible, claire et réfléchissante, ou ombragée.

☐ ☐

La profondeur du puits est de minimum 2,5 m (3 m si possible).

☐ ☐

Le puits est implanté suivant une pente continue pour les condensats, avec un point bas de collecte qui sera vidé soit par pompage, soit gravitairement via un puisard, si aucune remontée d'eau n'est possible.

☐ ☐

Le renouvellement d'air est de 1,5 vol/h minimum, afin d'évacuer les calories. A partir de 3 vol/h, le puits compensera les apports internes mais également les transferts de chaleur via l'enveloppe.

☐ ☐

Les vitesses sont faibles dans les réseaux pour baisser les pertes de charge induites par le puits, et la VMC est bien dimensionnée pour les équilibrer.

☐ ☐

Le choix d'employer un by-pass est étudié en veillant à favoriser la simplicité du système. Si le by-pass fait en théorie gagner en rendement, il est aussi source de multiples fuites ou de mauvais paramétrages et il peut entraver le déchargement de la température du puits de nuit.

☐ ☐

Les puissances de rafraîchissement et de refroidissement (cf glossaire p.14-15) **sont négatives**, condition pour que le puits joue son rôle en été.

☐ ☐

POINTS DE VIGILANCE EN PHASE TRAVAUX

Favoriser une entreprise unique pour la conception, l'installation du puits et le réglage du pilotage VMC / by-pass, qui offre une meilleure garantie d'un système opérationnel et cohérent à la réception.

☒ ☒

Contrôler l'étanchéité du puits avant recouvrement complet, par un test de mise en pression.

☐ ☐

Vérifier la pente continue : aucun point bas ne doit être créé en milieu de nappe (pente minimale de 1,5 - 2%).

☐ ☐

Prévoir la faisabilité du nettoyage : Les réseaux enterrés doivent être accessibles pour un nettoyage au furet ou par écoulement d'eau récupérée en point bas.

☐ ☐

Bien calorifuger les réseaux en sous-sol et en gaine du puits jusqu'à la VMC.

☐ ☐

Vérifier la programmation du by-pass et des plages de fonctionnement de la VMC / CTA.

☐ ☐

POINTS DE VIGILANCE EN PHASE USAGE

Assurer un entretien régulier (1 à 2 fois par an) : remplacement des filtres d'entrée d'air neuf, inspection de l'intérieur des tubes pour vérifier l'étanchéité et le bon écoulement des condensats et le contrôle de l'état général de fonctionnement du puits climatique (moteurs et ventilateurs, volets motorisés de by-pass, régulation).

☐ ☐

Surveiller les indicateurs : Température entrée et sortie du puits, débit de ventilation.

☐ ☐

- Si la température d'entrée vous semble trop élevée, comparez-la à une prise de température abritée du soleil. Les leviers d'action possibles sont centrés sur la prise d'air (peinture blanche, ombrage, état des filtres).

- Si la température d'arrivée en CTA est au-dessus de celle espérée, vérifier le programme du by-pass, la position du papillon en position fermée, et l'état des filtres en entrée d'air du puits.

- Si la température soufflée par la CTA est au-dessus de celle espérée, vérifier le programme de by-pass de la VMC, l'équilibre des débits soufflage / reprise, la propreté des filtres de VMC.

☐ ☐

Explorer les leviers d'optimisation possibles par le maintien des débits via le puits de nuit pour le décharger. La programmation du by-pass et le planning des régimes de VMC sont à adapter pour éventuellement gagner en performance en fin d'été.

PUITS CLIMATIQUES, QUESACO ?

Rafrâichir naturellement, un enjeu actuel

A l'heure où les épisodes caniculaires s'intensifient, la gestion du confort d'été est un enjeu majeur dans la conception et dans l'usage des bâtiments méditerranéens.

Parallèlement, le secteur du bâtiment doit encore fournir des efforts importants de réduction de consommations en énergie sur le long terme, qu'elles soient liées au chauffage, à la production d'eau chaude sanitaire ou au rafraîchissement. Nous faisons donc face à un double constat : un confort d'été à garantir dans nos bâtiments, et la nécessité de réduire nos dépenses énergétiques. Cela nous pousse à développer des solutions alternatives à la climatisation, qui est à la fois énergivore, coûteuse et émettrice de polluants (CO₂ et fluides frigorigènes).

Dans ce contexte, il semble intéressant de se pencher sur des systèmes de rafraîchissement passif tel que le puits climatique.

Principe de fonctionnement

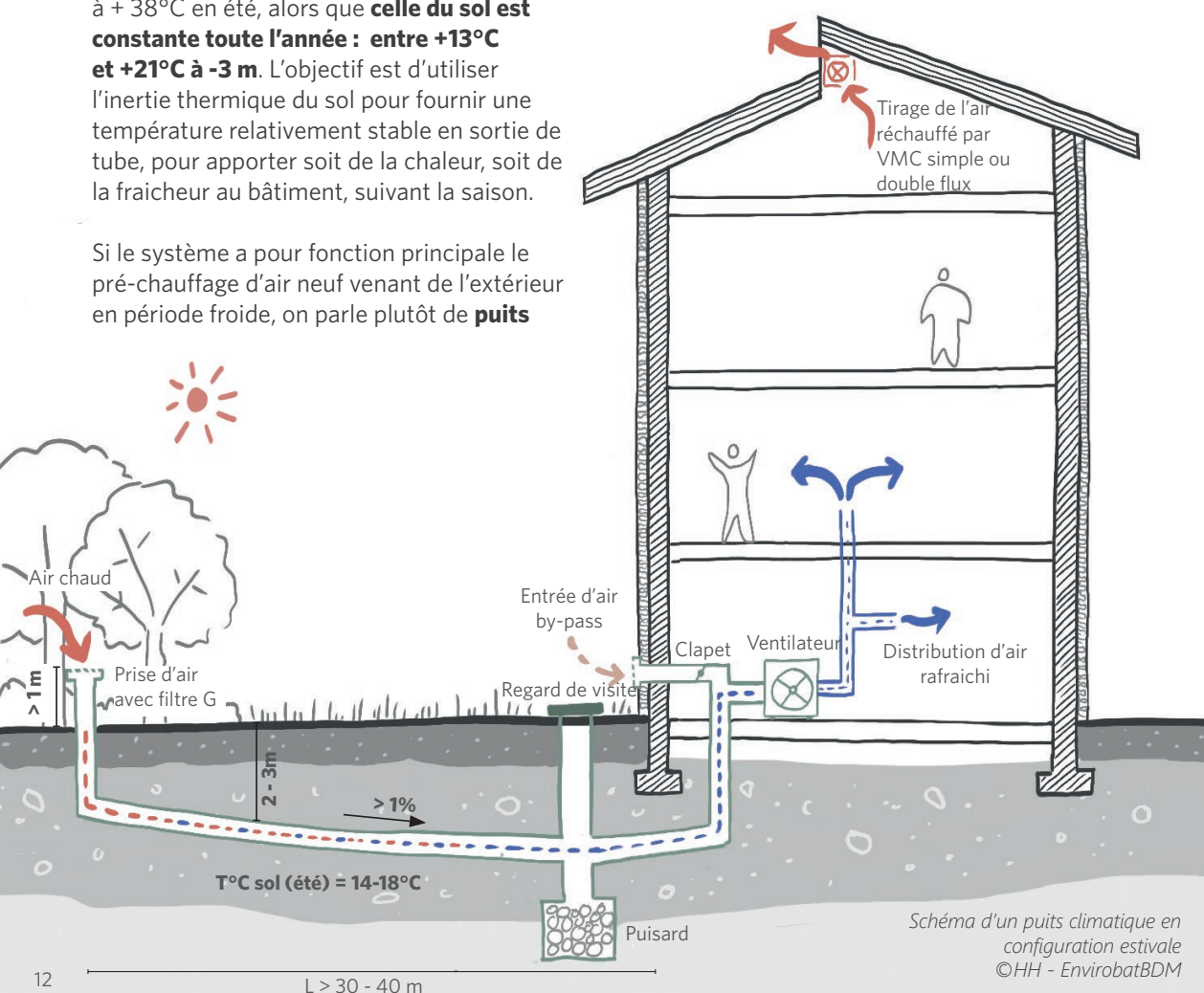
Le puits climatique est un système consistant à faire transiter de l'air neuf vers un bâtiment dans un ou plusieurs conduits enterrés horizontalement à une profondeur de 2 à 3 m. Le ou les tubes, longs de plusieurs dizaines de mètres, agissent comme un **échangeur thermique entre l'air et le sol**.

Le système part d'un constat simple : sous notre climat méditerranéen, la température de l'air extérieur peut varier de 0°C en hiver à + 38°C en été, alors que **celle du sol est constante toute l'année : entre +13°C et +21°C à -3 m**. L'objectif est d'utiliser l'inertie thermique du sol pour fournir une température relativement stable en sortie de tube, pour apporter soit de la chaleur, soit de la fraîcheur au bâtiment, suivant la saison.

Si le système a pour fonction principale le pré-chauffage d'air neuf venant de l'extérieur en période froide, on parle plutôt de **puits**

canadien. En revanche, si le système a pour fonction principale de rafraîchir l'air neuf venant de l'extérieur en période chaude, on parle plutôt de **puits provençal**. Le vocable 'puits climatique' s'impose au niveau européen afin de nommer le système dans son utilisation globale, hiver et été.

Il permet, en été, **d'apporter un air plus frais que la température extérieure** et de réduire le besoin de climatisation. En hiver, il permet d'apporter un air préchauffé, donc de diminuer les besoins de chauffage et ainsi les consommations d'énergie.



Problématiques et objectifs de l'étude

Le puits climatique est un système dont le principe paraît simple et potentiellement très intéressant. Cependant, sa conception et sa mise en œuvre sont complexes et doivent être étudiées au cas par cas. Elles intègrent **différents paramètres qui peuvent faire fortement varier la performance du système et donc sa pertinence**. Il peut s'agir du dimensionnement du puits lui-même (diamètre, longueur, écartement et nombre des tubes, débit d'air...) mais aussi des paramètres liés au site (nature du sol, ensoleillement, surface active...) ou encore la conception des équipements de ventilation et l'usage qui en est fait. En outre, la pertinence d'un puits climatique s'envisage au regard d'une **conception architecturale du bâtiment qui minimise les besoins de rafraîchissement** (protections solaires, isolation thermique, inertie...).

Au travers de cette étude, EnvirobotBDM a souhaité **se pencher sur des cas concrets réalisés dans la région PACA et constituer un retour d'expérience détaillé de neuf puits climatiques**. Comment les différents puits ont-ils été installés ? Quel usage en est-il fait ? Dans quelle mesure participent-ils au confort d'été des bâtiments ? Quand peut-on dire qu'ils sont performants ? Quels paramètres influent sur cette performance ? Quelles économies d'énergie offrent-ils réellement ?

Les objectifs de cette étude sont :

- Analyser les relevés de températures sur neuf puits climatiques en fonctionnement pendant la période estivale, afin d'évaluer leur performance (puissance de rafraîchissement et rendement).
- Etablir des liens entre la performance observée de chaque projet et ses différents

paramètres : dimensionnement, débit, implantation, site...

- Evaluer le confort thermique dans les locaux desservis et l'influence du puits sur celui-ci.
- Permettre d'appréhender les situations où la mise en œuvre d'un puits climatique est pertinente.
- Evaluer l'acceptabilité des usagers vis-à-vis du fonctionnement et de la maintenance.
- Tirer des enseignements sur les bonnes pratiques de conception, mise en œuvre, et maintenance d'un puits climatique.
- Comparer les relevés réels avec des simulations thermiques dynamiques (STD) et évaluer les paramètres qui influencent les simulations.

Avertissement : Cette étude ne compare pas les systèmes entre eux. De plus, si des sujets sont relevés, leur impact sur la performance est évalué de manière qualitative. L'objectif est de mieux appréhender les leviers pour intégrer le puits climatique à bon escient dans les réflexions futures sur l'adaptation au changement climatique des bâtiments.



Prise d'air en acier
©EnvirobotBDM

Glossaire

La numérotation du glossaire se retrouve dans la suite du dossier, à chaque fois que ces termes sont employés.

1. Conduction thermique : Echange de chaleur qui s'opère dans le conduit enterré entre l'air et le sol. Elle varie en fonction du matériau du conduit ainsi que la nature du sol et son humidité. Plus la conduction thermique entre le sol et l'air du puits est importante, plus l'inertie thermique du sol est transférée à l'air passant.

2. Surface d'échange : C'est la surface des conduits du puits en contact avec le sol. La combinaison de la surface d'échange avec la conduction thermique influe directement sur la performance du puits.

3. Surface active : Surface extérieure du sol située au-dessus du réseau de canalisations constituant le puits (herbe, dalle, végétation...). Elle influence la température du sol et donc la température de l'air dans le puits.

4. By-pass : Système permettant de court-circuiter un réseau aéraulique. Pour les puits climatiques, il est constitué d'un conduit annexe au conduit enterré du puits, comportant un clapet à pilotage automatique ou manuel. Il introduit de l'air extérieur directement dans le bâtiment (via la VMC) en contournant totalement le puits. Il permet d'activer le rafraîchissement lorsque la température extérieure est plus basse que la température de l'air dans le puits (la nuit en été ou au cours des intersaisons).



5. CTA : Centrale de traitement d'air. Elle gère la ventilation des bâtiments et intègre plusieurs systèmes d'optimisation : échangeur de chaleur, filtration, traitement thermique de l'air. Le puits climatique peut y être directement connecté au niveau de l'entrée d'air neuf.

6. Filtre G / F : Filtre grossier ou fin. Ils sont placés sur la prise d'air, et/ou dans la CTA. Leur rôle est de préserver les systèmes de traitement d'air et d'assurer la qualité d'air dans le bâtiment.

7. Puissance de refroidissement (chaleur absorbée par le puits seul) : C'est l'indicateur principal qui renseigne sur la performance du puits. Elle est calculée de la manière suivante :

$$P_{\text{refroidissement}} (W) = 0,34 \times \text{débit} (m^3/h) \times (t^{\circ} \text{ sortie} - t^{\circ} \text{ entrée})$$

La puissance de refroidissement (chaleur absorbée) est d'autant plus importante que le débit d'air introduit dans le bâtiment est élevé, et que l'écart entre la température extérieure (en entrée de puits) et celle en sortie de puits est élevé.

Cette donnée considère la puissance de refroidissement du puits seul (sans le bâtiment).

8. Puissance de rafraîchissement (chaleur absorbée par le système puits + by-pass) : C'est la quantité de frigories appar-



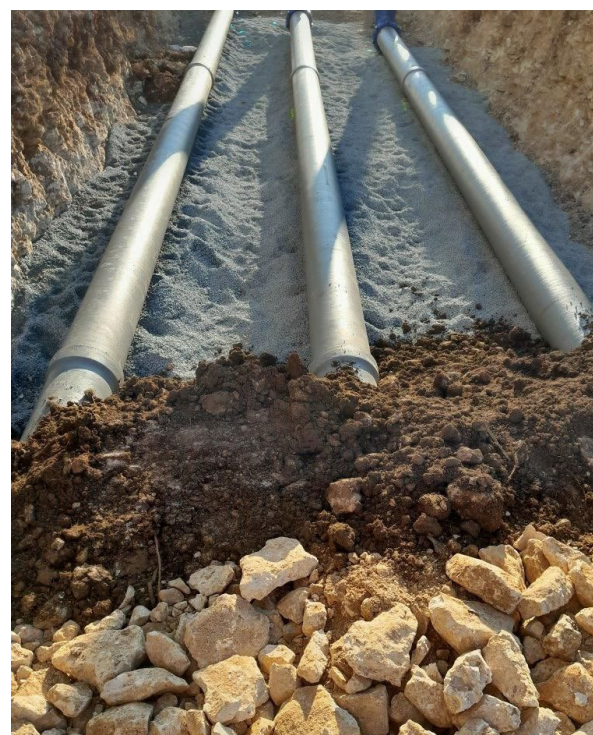
Exemple d'une CTA ©Lepuitscanadien.fr

tées par le système puits + by-pass + CTA au bâtiment. Nous comparons alors la température soufflée en sortie du puits + by-pass à la température intérieure du bâtiment.

$$P_{\text{rafraîchissement}} (W) = 0,34 \times \text{débit} (m^3/h) \times (t^{\circ} \text{ soufflage} - t^{\circ} \text{ intérieur bâtiment})$$

9. Energie thermique : C'est le produit de la puissance et la durée d'utilisation. Une puissance continue de 100 W pendant 10 h génère 1000 Wh d'énergie.

10. Saturation : Lorsque la température en sortie du puits s'éloigne de la température de sol avec une amplitude qui se rapproche de l'amplitude de la température extérieure, le puits est considéré comme saturé. Il ne transmet plus de frigories à l'air passant. Cette situation survient si le puits est sous-dimensionné ou si la conduction thermique entre l'air et le sol est dégradée. On parle de **régénération du puits (11)** lorsque la chaleur absorbée par le puits



pendant les journées chaudes est évacuée (de nuit pour une séquence quotidienne, ou l'hiver pour une séquence saisonnière).

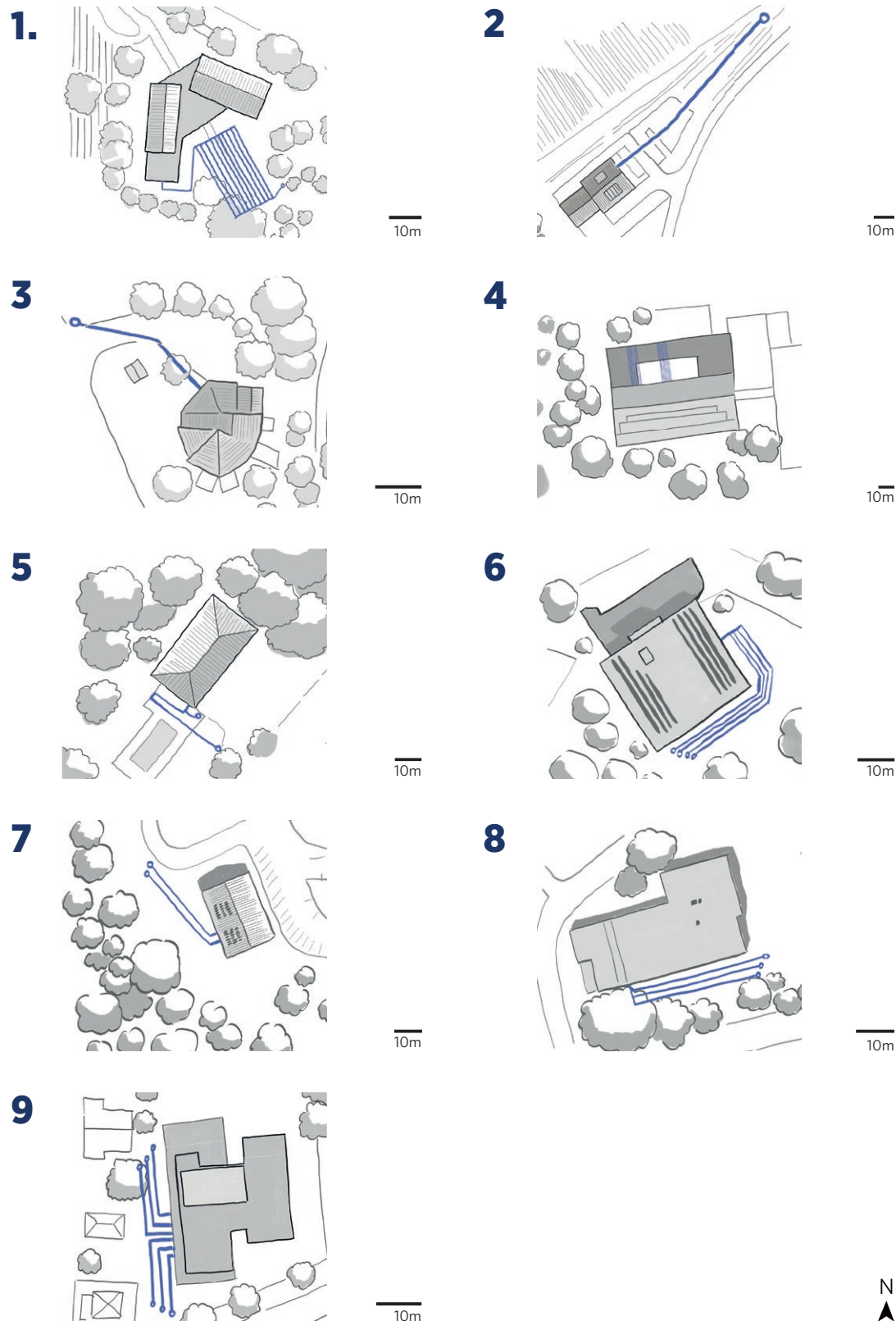
12. Perte de charge : Mesurée en Pascal (Pa), elle correspond à la perturbation du flux aéraulique dans les conduits. Plus il y a de pertes de charges, plus le ventilateur augmente sa consommation d'énergie pour maintenir le même débit d'air. Les pertes de charges s'additionnent. Elles dépendent de nombreux facteurs : vitesse de l'air, pression, température et humidité de l'air, rugosité du matériau constitutif du ou des tubes, longueur de tube parcourue par l'air, type et nombre d'accidents de parcours sur le circuit d'air (coudes, tés, raccords sur les caissons de filtration et ventilation, etc.).

13. Rendement (EER) : Coefficient d'Efficacité Énergétique de Rafraîchissement, ou rendement du système. Il est calculé ainsi :

$$EER = \text{Energie utile fournie} / \text{Energie électrique consommée.}$$

Lorsque le puits est connecté à une VMC ou une CTA hygiénique, nous évaluons la perte de charge ajoutée par le puits. C'est la surconsommation liée à l'utilisation du puits qui est prise en compte dans le EER. Ce coefficient est utile pour optimiser le dimensionnement du système, et pour comparer les performances énergétiques du puits à celles que l'on pourrait obtenir avec un système de refroidissement artificiel par machine thermodynamique.

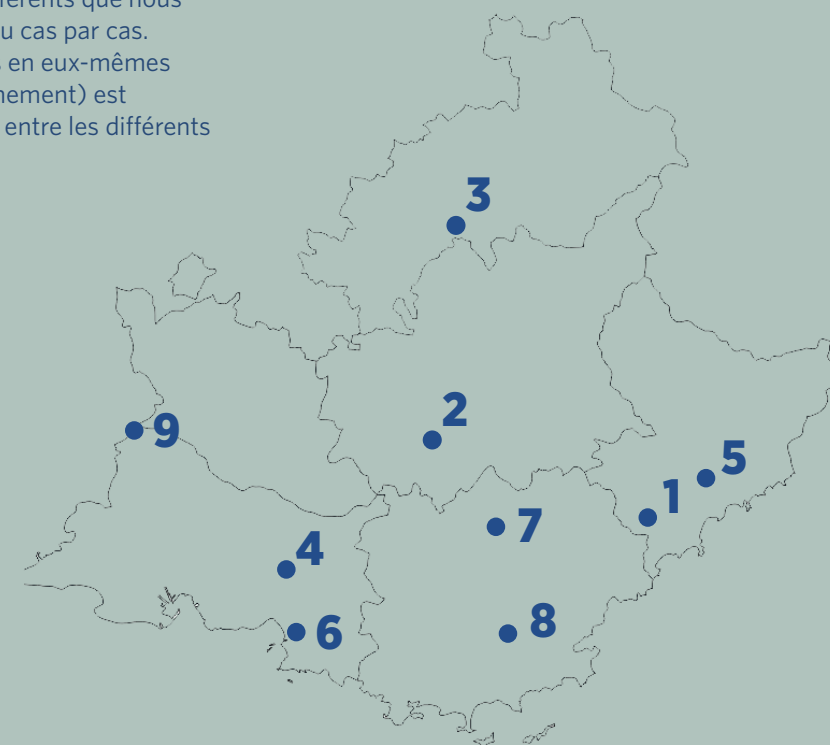
14. STD : Simulation thermique dynamique. C'est un outil de modélisation numérique qui permet d'étudier le comportement thermique et énergétique des bâtiments. Dans le cas de notre rapport, nous avons cherché à corréler simulations et relevés sur site pour identifier les paramètres sensibles à surveiller.



ANALYSE DES NEUF PROJETS

Notre étude s'est portée sur neuf bâtiments de la région PACA ayant intégré un puits climatique. Nous avons choisi des bâtiments répartis sur tout le territoire, de typologies et surfaces variées : deux maisons individuelles, un musée, un local commercial, trois immeubles de bureaux et deux immeubles de logements collectifs. Il s'agit de sept bâtiments neufs et deux réhabilitations, livrés entre 2000 et 2024.

Ce panel de neuf bâtiments offre à notre étude des contextes différents que nous allons pouvoir étudier au cas par cas. La conception des puits en eux-mêmes (géométrie, dimensionnement) est également assez variée entre les différents exemples.



Les neuf sites d'étude - Synthèse des indicateurs

		1	2	3
	unité	Espace muséal	Halle commerciale	Maison individuelle
Caractéristiques du bâtiment				
Localisation (Dpt)		06	04	05
Surface	m²	460	178	120
Volume	m³	1400	950	375
Caractéristiques du puits				
Surface active		Pelouse	Terre, grave, herbe	Enrobé, herbe
Nombre de branches du puits	u	10	1	2
Longueur des branches	m	21	100	30
Diamètre de tube	m	0,2	0,5	0,16
Profondeur	m	2	2,2	2
Matériau		PEHD	PEHD	PVC
Débit du puits	m³/h	1500	666	60
Taux de renouvellement	vol/h	1,1	0,7	0,2
Cout de l'installation (hors terrassement) *réel inconnu, estimation suivant ratio fabricant	€HT	25 000	8 030	/
Performances du puits				
Chaleur absorbée par le puits sur la période de mesure	kWh	1486	/	71
Puissance max du puits	W	5610	/	296
Rendement EER équivalent		16,7	/	>20
Energie absorbée pour rafraichir à 26°C	kWh	861	/	98
Rendement de rafraichissement (consigne 26°C ou temp. intérieure mesurée)		9,7	/	>20
Rendement de rafraichissement (consigne 28°C)		17,5	/	/
Economie de climatisation (consigne 26°C)	kWh	344	0	39

4	5	6	7	8	9
Immeuble de bureaux	Maison individuelle 2	Immeuble de bureaux 2	Logements collectifs 1	Logements collectifs 2	Centre médico social
13	06	13	83	83	84
600	130	570,00	1050	1980	1575
2300	350	2800	2600	4800	4400
Sous le bâtiment	Terrasse blanche	Herbe	Herbe ensoleillée	Herbe ensoleillée	Terre, parking
16	1	4	2	3	6
16	45	45	35	35	30
0,13	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3
inconnue	3	2 à 2,5	2	2	2 et 3,15
PEHD	Terre cuite	Terre cuite	Fonte	Fonte	Fonte
4770	480	2690	2130	2980	7700
2,1	1,4	1,0	0,8	0,6	1,8
/	8 200	34 724	42 000*	63 000*	115 500*
2624	799	1436		2061	1560
18651	3215	15548		11536	17017
1,0	11	26,5	/	7,9	4,6
2333	1495	1056		/	686
0,9	20,5	19,5	/	/	2,0
/	/	/	/	2,0	/
933	598	422	/	824	275



Méthodologie

Pour chaque projet, nous avons échangé avec les propriétaires, effectué une visite en début d'été où nous avons instrumenté le bâtiment, et une visite en fin d'été où nous avons récupéré les sondes et leurs résultats.

Nous avons posé des sondes hygrothermiques selon un protocole similaire entre chaque bâtiment :

- Dans la prise d'air extérieure
- Au niveau de la pénétration du puits dans le bâtiment (après by-pass si il y a)
- Au soufflage d'air neuf après échangeur (si présence d'une double flux)
- Dans une des pièces de vie

La référence du matériel utilisé est :

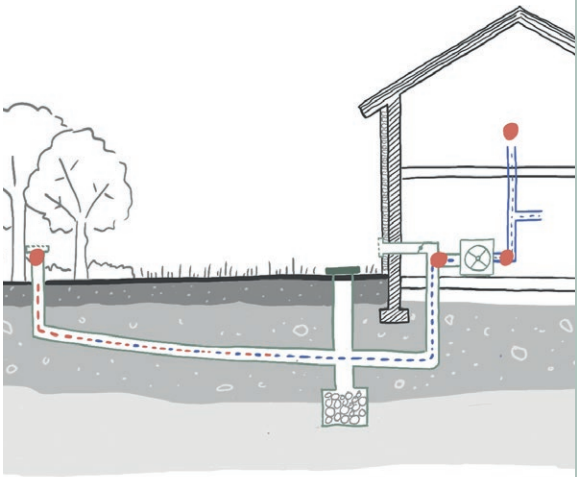
- Sondes Hygrothermiques RS USB IP 67; -35°C / 80°C, précision 0,5 °C ; 1600 mesures
- Anémomètre à fil chaud VOLTcraft PL-135 HAN

Les indicateurs que nous avons observés pour chaque puits sont les suivants :

- Nombre et longueur de tubes
- Diamètre de tube
- Diamètre et longueur du collecteur
- Matériau du conduit
- Profondeur du conduit

Les indicateurs que nous avons mesurés sont :

- Température à chaque sonde
- Débit par branche
- Débit du puits



Position des sondes
©EnvirobatBDM

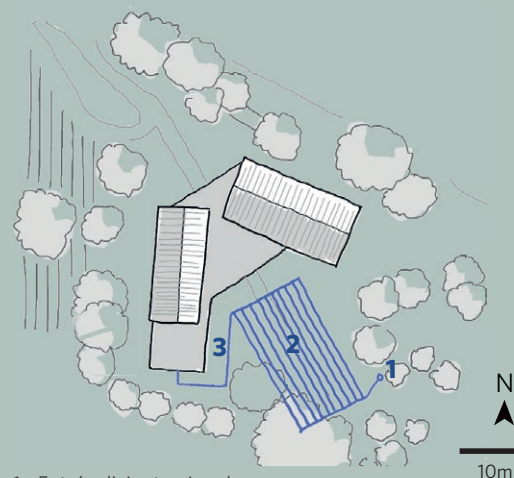
Les indicateurs que nous avons calculés sur cette base sont :

- Taux de renouvellement
- Vitesse d'écoulement par branche
- Perte de charge
- Énergie absorbée du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h par le puits
- Puissance maximale absorbée par le puits
- Puissance moyenne absorbée de jour (8h-19H) par le puits
- Rendement brut (SEER)
- Énergie absorbée pour rafraichir à 26°C du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h
- Rendement de rafraichissement (SEER sur consigne 26°C)



Sonde hygrothermique et anémomètre

1. Espace muséal (06)



- 1 - Entrée d'air et puisard
2 - 10 tubes PEHD 21m - diam. = 20cm
3 - Collecteur diam. = 30cm

Identité du site

ERP - Réhabilitation livrée en 2023
Surface : 460 m² - Volume : 1400 m³

Localisation

Territoire de Pré-alpes
Altitude : 227 m - Distance de la mer : 12 km

Sol

Composition : Remblais, argiles limoneuses avec cailloutis et blocs.

Surface active du puits

Pelouse arrosée, sans ombrage.

Géométrie du puits

10 tubes L = 21 m, diam = 0,2 m
Espacement des tubes : 0,9 m
Profondeur : 2 m

Matériaux et équipements du puits

PEHD (HELIOS)
Collecteur HELIOS LEWT 0.3m PEHD
Pas de by-pass
Prise d'air (diam 0,3 m) abritée avec filtre G

Gestion de condensats

Puisard au niveau de la prise d'air gravitaire

Ventilation

VMC simple flux : 1500 m³/h soit environ
1 vol/h, France AIR RECTIL AIR ECM 350
ISOLE.

Caractéristiques du bâtiment

ITE : 14cm de laine de bois
Toiture tuiles, isolation en paille sous
rampants. Stores bannes sur façades E-O-S
Vitrage 4 16 4 sur menuiseries aluminium

Description de l'installation

Contexte et motivations

Ce bâtiment, engagé en démarche BDM, cherche à mettre en valeur les savoir-faire de l'entreprise propriétaire et accueillir des événements publics ou privés. Le puits climatique permet de conserver une ventilation importante, adaptée aux flux de personnes envisagés, en apportant un air tempéré en été comme en hiver. Il permet de limiter la puissance des équipements thermiques installés (pompe à chaleur réversible).

Tubes PEHD et VMC simple flux

La diffusion de l'air issu du puits climatique est réalisée via des grilles de soufflage au sol pour le RDC et au plafond pour le R+1. L'air est repris par des bouches d'aspiration dans les pièces humides par une VMC simple flux indépendante.

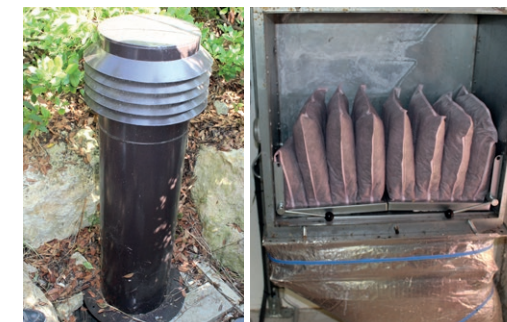
Des locaux climatisés et peu protégés des entrées de chaleur

Les protections solaires (stores bannes) ne sont pas utilisées, les occupants craignant des dégâts en cas d'intempéries. Les flux de personnes dus à l'activité événementielle génèrent l'ouverture

permanente des portes vers l'extérieur, ce qui est peu propice à la mesure d'une performance thermique. Le bâtiment est climatisé, par un système de rafraîchissement au sol, entre 21 et 23°C tout l'été. L'action du puits en termes de rafraîchissement est très limitée dans ce cadre.

Les analyses énergétiques de notre étude ont donc été faites sur une hypothèse de consigne à 26°C, qui ne correspond pas à la réalité mais à une approche de bâtiment durable, et permet de rendre les données du puits plus exploitables.

La maintenance du puits est suivie, comme en témoigne l'état de propreté des filtres.



Prise d'air et filtres de la VMC ©EnvirobotBDM



10 tubes enterrés en PEHD - ©NeM Architectes



VMC simple flux - 1 : Arrivée du puits - 2 : Soufflage - ©Sowatt

Analyse des résultats

Suivi hygrothermique (Graphique 1)

Lors des pics de température extérieure à 36°C, la température en sortie du puits est de 26°C. **Le puits est performant tout l'été, puisqu'il abaisse la température de 6°C à 10°C par rapport à l'extérieur** pendant les pics de journée.

La température de sortie du puits subit une amplitude de 4°C environ sur 24h. Cela peut être expliqué par la faible longueur des branches (21m). En effet, plus le puits est long plus la température en sortie est stable.

Le puits amortit les périodes caniculaires et se régénère très rapidement dès que les températures baissent : baisse simultanée de la moyenne quotidienne du puits et de la moyenne quotidienne extérieure après la période caniculaire du 15 août.

Puissance de rafraichissement (Graphique 2)

En dehors des canicules où la température de sortie du puits avoisine la consigne théorique (26°C), **le puits délivre une puissance moyenne de rafraichissement de 1500 W en journée (courbe verte).** Cette puissance « compense » environ 20

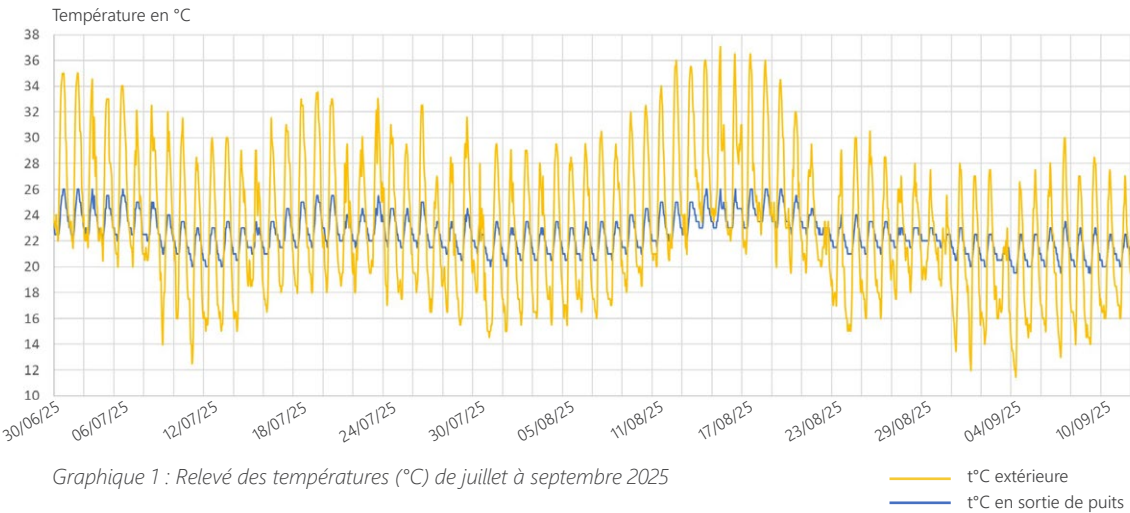
à 35 % des apports de chaleur que subit le bâtiment par ses parois (courbe orange), excepté pendant les canicules.

Performance du puits seul⁷

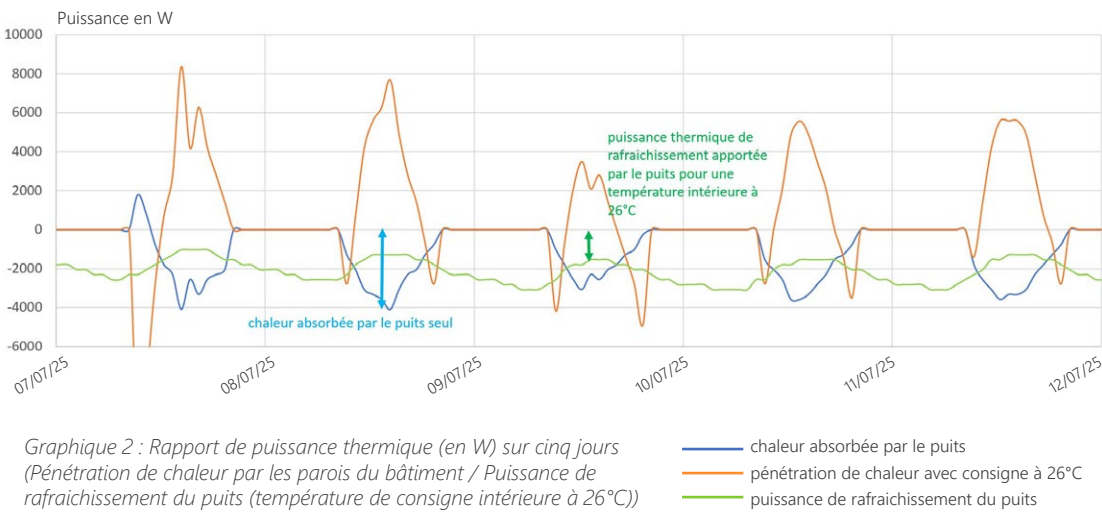
Chaleur absorbée du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h par le puits	1486 kWh
Puissance maximale absorbée par le puits	5610 W
Puissance moyenne absorbée de jour (8h-19h) par le puits	1373 W
Rendement brut ¹³	EER = 16,7

Performance du puits en rafraichissement du bâtiment⁸

Energie absorbée pour rafraichir à 26°C du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h	861 kWh
Rendement de rafraichissement équivalent (consigne 26°C)	SEER = 9.8
Energie absorbée pour rafraichir à 28°C du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h	1556 kWh
Rendement de rafraichissement équivalent (consigne 28°C)	EER = 17.8



Graphique 1 : Relevé des températures (°C) de juillet à septembre 2025



Graphique 2 : Rapport de puissance thermique (en W) sur cinq jours (Pénétration de chaleur par les parois du bâtiment / Puissance de rafraichissement du puits (température de consigne intérieure à 26°C))

Comparaison avec étude STD¹⁴

D'après la simulation thermodynamique, le besoin maximal en puissance de rafraichissement pour une consigne à 26°C est de **6490 W**. Le puits offre une puissance maximale de rafraichissement mesurée de **2805 W, ce qui représente 43% du besoin.**

Les **besoins annuels en énergie de rafraichissement simulés sont de 368 kWh** (598 kWh avec météo canicule). Les mesures effectuées sur le puits totalisent une énergie de rafraichissement de 861 kWh sur juillet / août.

Ainsi, avec une consigne à 26°C, l'énergie de rafraichissement livrée par le puits couvre en théorie les besoins du bâtiment, mais la puissance de rafraichissement du puits n'est pas suffisante lors des canicules (43% de la puissance maximale nécessaire). **Avec une consigne à 28°C, le puits couvrirait 100% des besoins en puissance et en énergie.**

L'énergie qu'aurait consommée un climatiseur équivalent (EER 2.5) pendant la période juillet - août est de **344 kWh**.

À retenir de ce projet

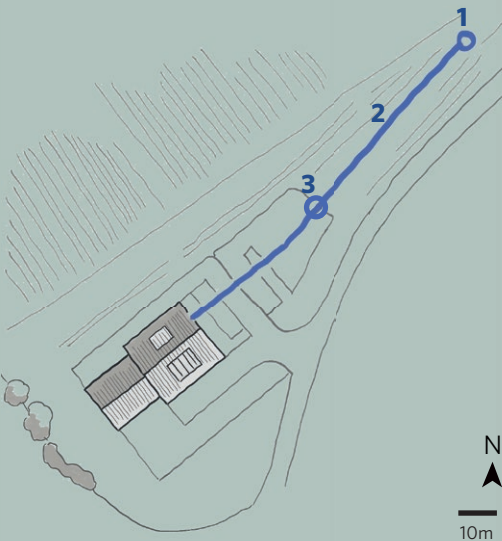
Le puits climatique met à disposition un volume d'air à température modérée qui **permet d'évacuer tous les apports internes sans réchauffer la température intérieure**. Sa puissance de rafraichissement est limitée par la température de sortie et la consigne qui sont très proches lors des canicules (26°C).

Le puits est performant pour les raisons suivantes :

- Sol arrosé tout l'été et terrain irrigué
- Absence de by-pass⁴ qui permet une bonne régénération nocturne
- Système simple sans panne ou défaut de régulation
- VMC correctement dimensionnée

Néanmoins, certains axes auraient pu être améliorés en conception ou en réalisation, tels que des tubes plus longs ou une profondeur supplémentaire.

2. Halle commerciale (04)



- 1 - Entrée d'air
- 2 - 1 tube PVC 100 m - d=50cm
- 3 - Regard de visite puisard

Identité du site

Commerce et bureaux - R+1
Construction neuve livrée en 2024
Surface : 178 m² - Volume : 950 m³

Localisation

Vallée de la Durance (04)
Plaine agricole - Altitude : 511 m

Sol

Terre avec forte présence de roches calcaires
Sable 56%, argile 16%, limons 28%

Surface active du puits

Grave grise 50%, terre nue 25%, herbes
hautes clairsemées 25%

Géométrie du puits

1 tube L = 100 m, diam = 0,5 m
Profondeur : 2,2 m
Arrivée dans local technique RDC

Matériaux et équipements du puits

Puits en PVC - Regard en béton
Prise d'air abritée sans filtre
By-pass manuel en galvanisé
Distribution en gaines galvanisées non
isolées

Gestion de condensats

Puisard au milieu du puits (50m) sans
pompe de relevage.

Ventilation

VMC double flux à roue d'échange CALA-
DAIR: 1332 m³/h max, régime 50%

Caractéristiques du bâtiment

Structure bois - isolation biosourcée
Dalle sur verre cellulaire 40 cm
Protection solaires importantes

Description de l'installation

Contexte et motivations

Ce bâtiment exemplaire, reconnu BDM
niveau or en phase réalisation, a pour objectif
de fonctionner avec une sobriété énergétique
maximale. Le puits climatique permet de
conserver un débit de ventilation important
tout en limitant les entrées d'air chaud.



Prise d'air : ouvrage sur
mesure permettant la
protection à la pluie et aux
rongeurs, tout en respectant
la porosité demandée.

Regard béton : Accès au
puisard situé à la moitié de
la longueur du puits.

©Sowatt

Une CTA à mi-régime

Le puits débouche dans la CTA⁵ installée sur
la terrasse du R+1. Celle-ci est réglée à un
régime de 50%, dans une recherche de com-
promis entre débit d'air et nuisance acous-

Regard béton - ©Aya architectures

tique. La température de soufflage est réglée
à 18°C. Le système comporte un by-pass
(roue arrêtée) avec un débit maximal réglé à
50% en journée (8h-18h30) et réduit de nuit.

La VMC a été en défaut tout l'été, ce qui
limite l'analyse de données de notre étude.

Un confort d'été remarquable

Durant l'été 2025, la température intérieure
maximale relevée est de 28°C dans le
magasin. Ce confort d'été, qui satisfait les
usagers, est obtenu sans climatisation, grâce
à la ventilation naturelle organisée toutes
les nuits et les déperditions des armoires
frigorifiques de vente de produits frais. Ces
armoires de présentation ont des portes
en simple vitrage qui sont fréquemment
ouvertes et libèrent ainsi de manière
continue des frigories dans le local.

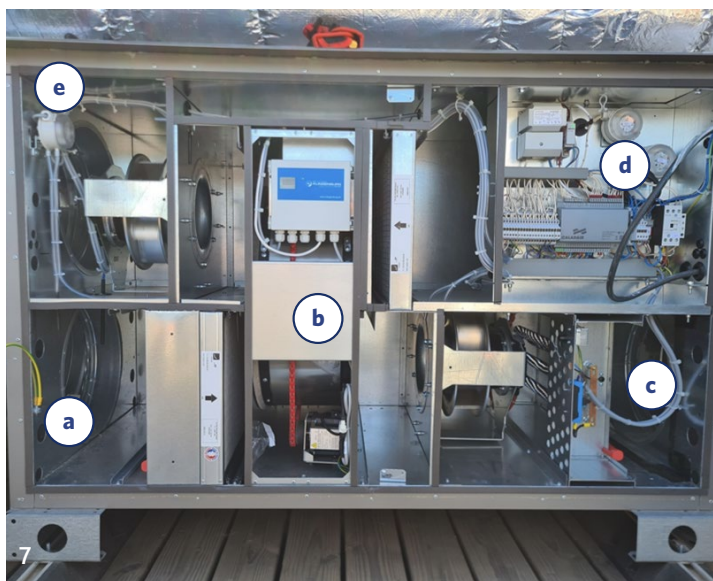
Remontées de limons

Lors de la visite, nous avons observé un
dépôt important de limons dans le puits (cf
photo 5 p.28). Ce dépôt est lié aux remontées
de nappe par le puisard d'infiltration des
condensats en milieu de puits.

1-Arrivée réseau issu du puits
2-Soufflage
3-Reprise



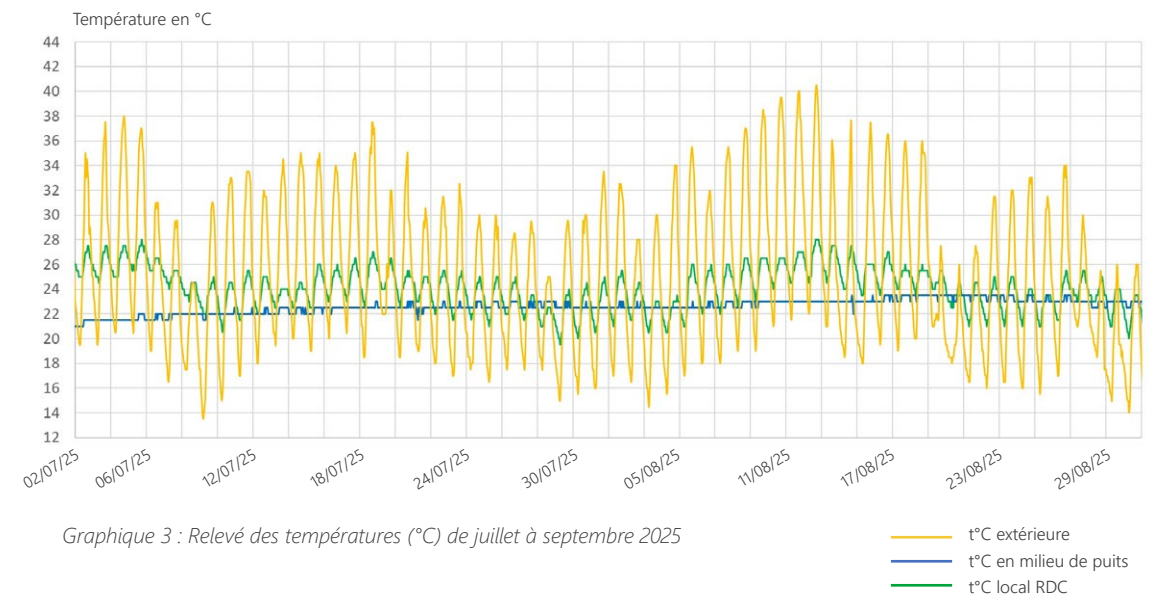
©Sowatt



- 1-Surface active 50% grave grise (parking)
 2-Surface active 25% terre nue
 3-Surface active 25% herbes hautes
 4-A l'intérieur du regard de visite
 5-Dépôt de limons dans le puits
 6-Arrivée du puits et by-pass
 7-Intérieur de la CTA :
 a. Arrivée puits
 b. Roue d'échange
 c. Soufflage vers le bâtiment
 d. Reprise d'air
 e. Evacuation d'air vicié

©Sowatt

Analyse des résultats



Suivi hygrothermique

En l'absence de VMC, seules les températures intérieures du puits peuvent donner une idée du potentiel de rafraîchissement à la profondeur considérée. Cette température prise en milieu de puits à 2,2m de profondeur est toujours restée très stable et en dessous de 23 °C (**courbe bleue ci-dessus**). Sans préjuger de la capacité du puits à transmettre cette température, cela montre une température de sol intéressante à 2,2m.

Des mesures complémentaires seront réalisées à l'été 2026 pour compléter ce rapport.

Données économiques

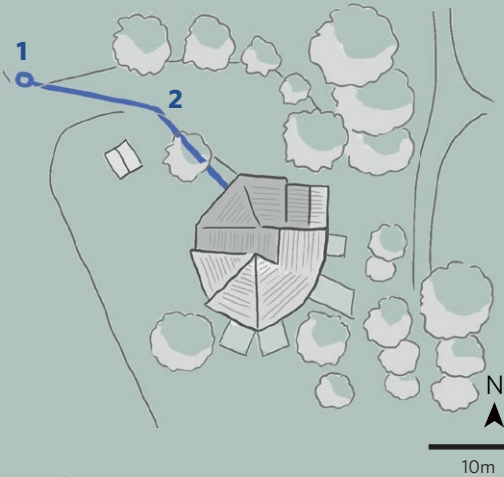
- Coût terrassement : 5520 €HT
- Coût fourniture et pose du puits, borne, puisard et regard de visite : 8030 €HT
- ☛ **Coût total puits : 13 550 €HT**

À retenir de ce projet

La température de sol à 2,2m toujours inférieure à 23°C au cœur de l'été démontre un potentiel de rafraîchissement du puits intéressant.

La surveillance des systèmes techniques isolés reste un point faible en l'absence d'alarme dans les zones d'activité. Le confort du bâtiment (thermique mais également olfactif) ne s'est pas dégradé. La ventilation naturelle opérée chaque nuit par ouvertures des fenêtres, associée aux déperditions des armoires frigorifiques et à l'enveloppe bioclimatique du bâtiment ont permis de passer l'été sans ventilation mécanique. L'objectif de sobriété du maître d'ouvrage est validé.

3. Maison individuelle (05)



Légende :
1 - Entrée d'air
2 - 1 tube PVC L=30m - diam.= 16cm

Identité du site

Maison individuelle - R+1
Construction neuve livrée en 2007
Surface : 120 m² - Volume : 260 m³

Localisation

Gapençais (05) - Altitude : 722m
Terrain en adret, déclivité Sud 10%

Sol

Argile 3%, limons 23%, sable 74%

Surface active du puits

Voie de circulation en enrobé clair 30% ,
jardin 50%, sous la maison 20%

Géométrie du puits

2 tubes L = 30 m, diam = 0,16 m
Profondeur : 2 m
5 bouches de soufflage au RDC

Matériaux et équipements du puits

Puits en PVC
Prise d'air abritée par un col de cygne

Gestion de condensats

Non identifiée

Ventilation

Tirage naturel et dépression liée à la VMC
sanitaire

Caractéristiques du bâtiment

Maison bioclimatique type passif
Ossature bois, isolation ouate de cellulose
Dallage sur terre plein

Description de l'installation

Contexte et motivations

L'objectif du propriétaire était de construire une maison vertueuse en poussant les curseurs de l'autonomie au maximum. Le puits s'inscrit principalement dans un objectif de performance en hiver. En été, la ventilation nocturne associée à la conception bioclimatique de la maison suffit à assurer un excellent confort thermique. La maison étant de plus en plus occupée en journée dans le cadre du télétravail, le confort estival de jour, alors que les températures extérieures sont élevées, devient une priorité. Dans ce cadre, les habitants se posent la question de l'apport possible du puits climatique en été.

Un tirage naturel lié aux menuiseries

Le puits dessert cinq bouches de soufflage réparties sur toute la surface du RDC (salon, WC, cellier et cave). Le tirage dans le puits n'est effectif que lorsque les fenêtres sont fermées, pour que la VMC sanitaire génère une dépression dans le volume. Son apport au bâtiment est donc strictement lié à la fermeture des menuiseries.

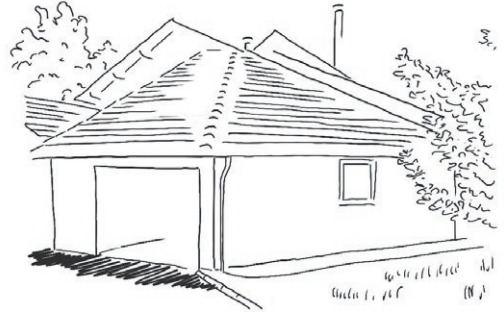
Un confort d'été initial

Dans ce territoire où les températures baissent nettement la nuit, la ventilation nocturne et les fondamentaux bioclimatiques de la maison garantissent le confort estival la majorité du temps sans que l'utilisation du puits soit nécessaire. Il intervient en période de canicule, lorsque la maison est fermée. Le puits délivre alors de l'air frais tiré par la VMC sanitaire (estimée à 60 m³/h). L'apport du puits est plus marqué en hiver, où il tempère en continu l'apport d'air neuf nécessaire à la VMC simple flux (hors champs de l'étude).



1- Prise d'air extérieure (sans filtre)
2-Pénétration dans les différentes
pièces du bâtiment

©Sowatt



©EnvirobotBDM

Analyse des résultats

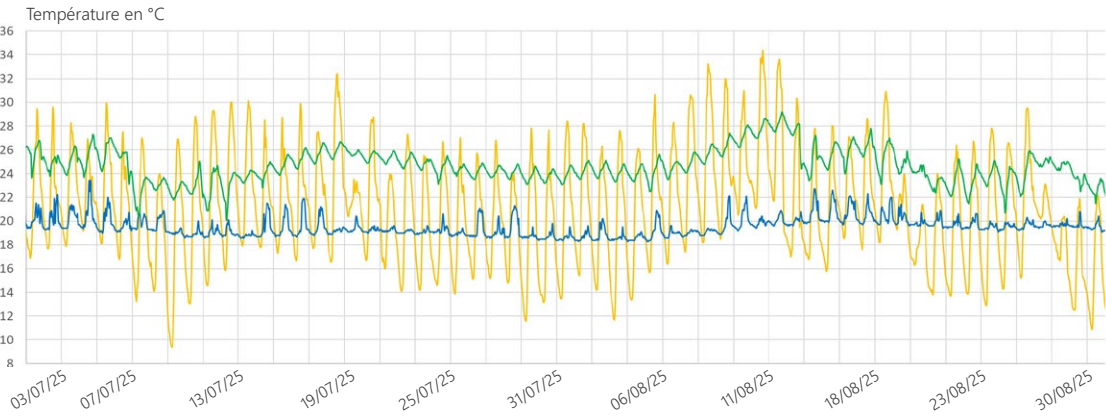
Suivi hygrothermique

Le puits est actif principalement en journée, lorsque les fenêtres sont fermées et que le tirage de la VMC est opérationnel. Sa température en sortie est toujours en dessous de 23 °C. Après la période de canicule (début août), le puits voit sa température intérieure monter de 1.5 °C.

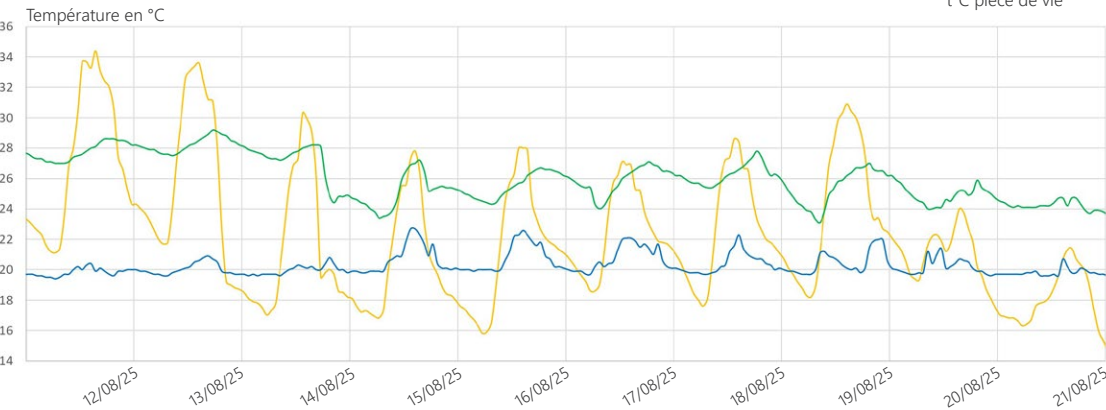
L'amplitude quotidienne en sortie du puits est en moyenne de 2 °C, en lien direct avec la température extérieure. Cette amplitude relativement faible et donc intéressante du point de vue thermique doit être relativisée au regard du faible débit d'air traversant le puits (60 m³/h).

En zoomant sur la période du 15 août (Graphique 5), on identifie les journées avec portes ouvertes (sortie du puits sans élévation notable) et les journées avec fenêtres fermées (pic de 2°C en sortie du puits).

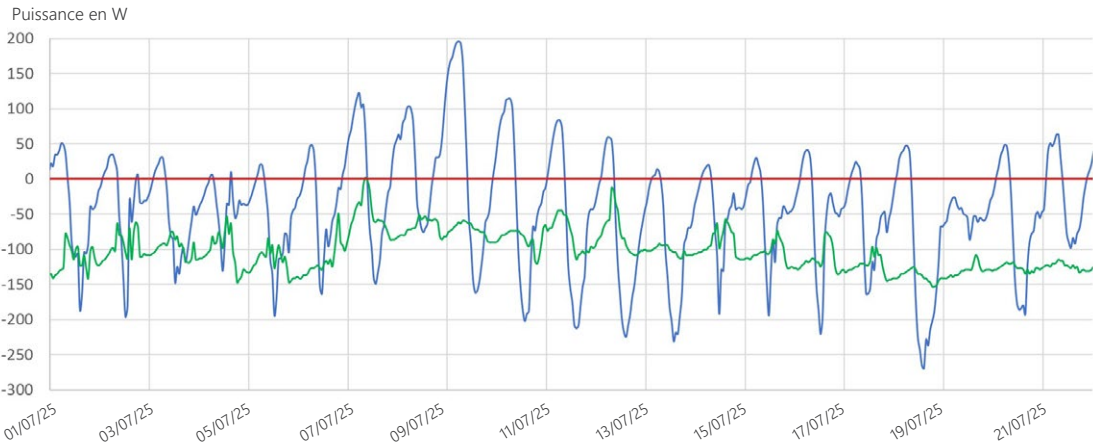
La réactivité du puits à la température extérieure est instantanée, ce qui s'explique par la longueur limitée des tubes et les échanges limités avec le sol, le PVC étant un matériau à faible conduction thermique. La chaleur absorbée par le puits reste très limitée (maxi 250W). Globalement, le rafraichissement obtenu via le puits est négligeable (100W-150W).



Graphique 4 : Relevé des températures de juillet à septembre 2025



Graphique 5 : Zoom des températures relevées sur le pic caniculaire




Graphique 6 : Puissance de refroidissement et de rafraichissement sur 10 jours

Performance du puits seul

Energie absorbée du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h par le puits	71 kWh
Puissance maximale absorbée par le puits	296 W
Puissance moyenne absorbée de jour (8h-19h) par le puits	77 W
Rendement brut ¹³	EER >20

Ce rendement anormalement élevé s'explique par les très faibles débits engagés. Les pertes de charges sont basses et la surconsommation d'électricité liée aux pertes de charge est négligeable.

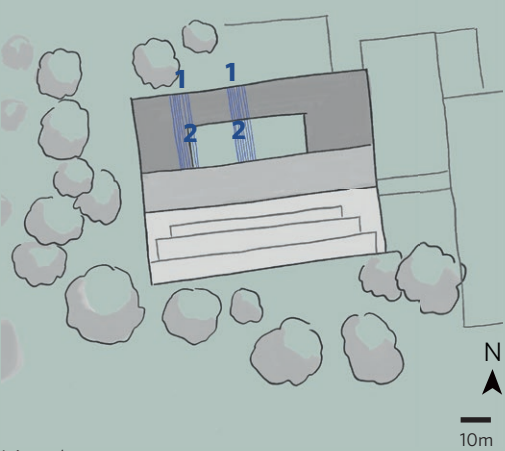
 L'énergie qu'aurait consommée un climatiseur équivalent (EER 2.5) pendant la période juillet - août est de **39 kWh**.

À retenir de ce projet

Le puits climatique n'apporte pas d'effet significatif au confort du bâtiment en été, qui est déjà bon grâce à la conception bioclimatique globale. Le débit très limité en est la principale cause. Son faible coefficient d'échange avec le sol ne permet pas d'envisager de passer sur des débits beaucoup plus importants sans saturer sa capacité.

Pour être plus performant, il faudrait des surfaces de contact plus longues et des débits plus importants.

4. Immeuble de bureaux (13)



Légende :
1 - Entrée d'air
2 - 2x8 tubes PEHD - L=16 m - d=13cm

Identité du site

Bureaux en R+2
Construction neuve livrée en 2000
Surface : 600 m² - Volume : 1500 m³

Localisation

Pays d'Aix (13)
Altitude : 162m - Environnement de pinède

Sol

Remblais sous le bâtiment

Surface active du puits

Sous le bâtiment 70%, Patio central en gravillons 30%

Géométrie du puits

16 tubes L = 16 m, diam = 0,13 m
Profondeur : inconnue
Cheminement sous le bâtiment et arrivée dans la serre bioclimatique

Matériaux et équipements du puits

Gaines PEHD annelées
2 prises d'air (sans filtre)
4 grilles de soufflage dans la serre

Gestion de condensats

Non traitée

Ventilation

Tirage par dépression via 2 VMC simple flux avec batteries thermiques (4770 m³/h total)

Conception du bâtiment

Serre bioclimatique en façade Sud (verre simple vitrage)
Protection solaire par casquette en béton

Description de l'installation

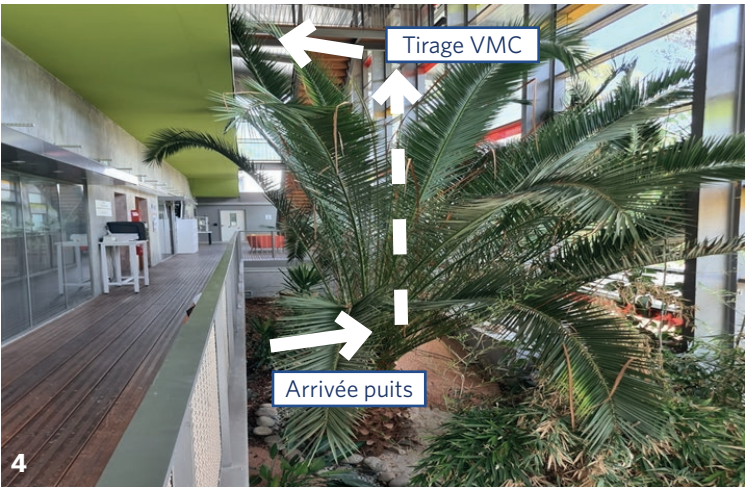
Contexte et motivations

Le puits climatique de ce bâtiment s'inscrit dans une conception orientée sur l'économie de chauffage, qui était plus prioritaire que le confort d'été dans les années 2000.

Un air réchauffé par la serre

L'air entrant est tempéré par le puits climatique, il débouche dans une serre bioclimatique exposée sud où il est réchauffé par rayonnement. Il est ensuite tiré par dépression par 2 VMC simple flux, dont les aspirations sont localisées en partie haute de la serre bioclimatique. La température de soufflage dans les bureaux est alors ajustée par une batterie thermique.

En été, la large casquette limite les apports solaires directes. Mais même à l'ombre, la surface de vitrage de la serre, avec un $U_w > 3$ (simple vitrage) préchauffe l'air provenant du puits dans son ascension jusqu'à la VMC. Ce système est très pertinent pour l'hiver mais contreproductif l'été.



1.Prise d'air extérieure 2.Grilles de soufflage en pied de serre 3.Arrivée des conduites côté soufflage 4.Cheminement de l'air dans l'espace de la serre 5.Conduits de tirage VMC en partie haute de la serre - ©EnvirobatBDM

Analyse des résultats

Un tirage faible dû aux ventelles

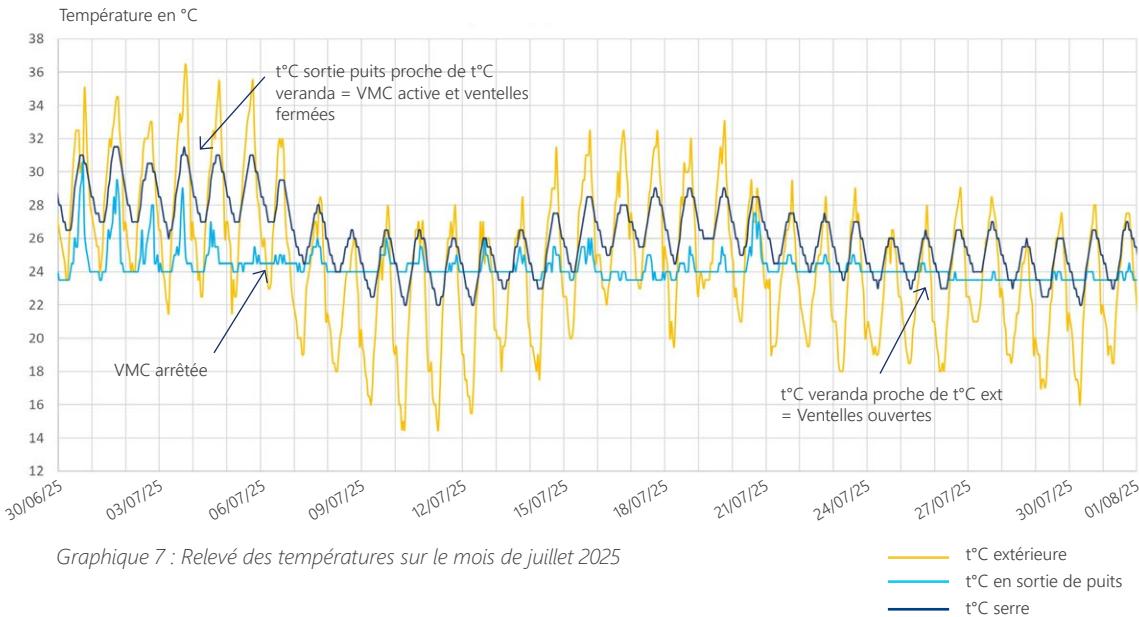
Les ventelles basses de la serre bioclimatique sont ouvertes tout l'été, en juin comme en septembre, ce qui induit un tirage plus faible via le puits.



Ventelles basses de la serre ©Sowatt



Caisse de VMC simple flux en toiture avec batterie thermique ©Sowatt



Graphique 7 : Relevé des températures sur le mois de juillet 2025

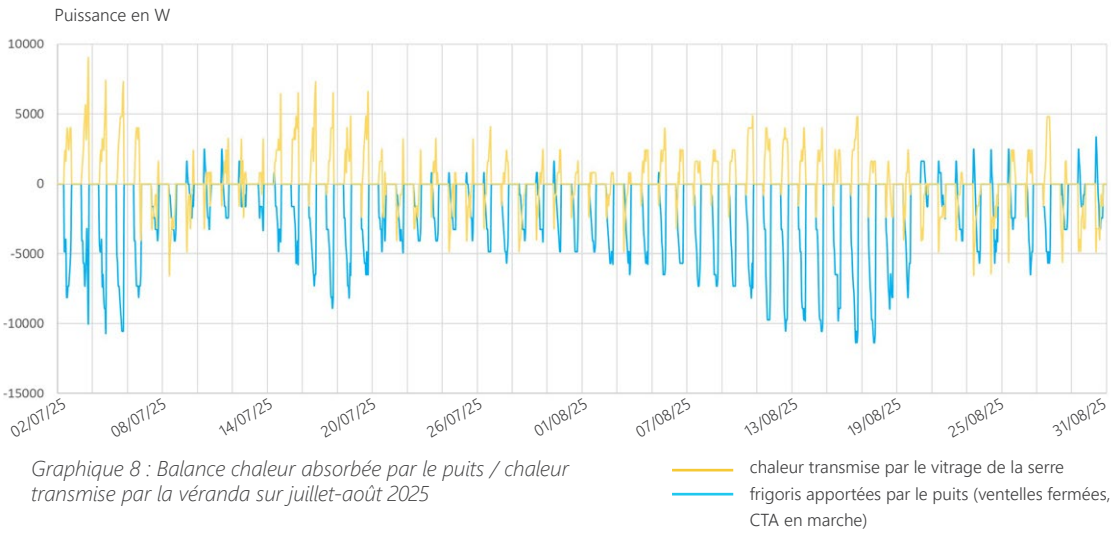
Suivi hygrothermique

La température en sortie de puits est intéressante (<25°C) lorsque les ventelles sont fermées. La température de la véranda (en partie basse) est abaissée de 2 à 4°C par rapport à la température extérieure.

La surface vitrée (simple vitrage) de la serre bioclimatique (400m² à Uw= 4 W/(m²K)) représente une entrée de chaleur importante en été. Elle absorbe la quasi-totalité du rafraichissement apporté par le puits dans la serre. Seule la canicule de début août voit l'action du puits prépondérante avec une puissance de rafraichissement en cœur de journée voisine de 10 kW.

Performance du puits seul

(en supposant les ventelles basses fermées et la température sortie puits maintenue sans saturation). Attention ces résultats sont purement théoriques car les ventelles étaient ouvertes lors des deux visites et il est probable qu'un flux continu dans le puits le sature (branches trop petites et trop proches).



Graphique 8 : Balance chaleur absorbée par le puits / chaleur transmise par la véranda sur juillet-août 2025

L'intérêt de ces calculs réside dans l'évaluation d'un potentiel d'apport thermique du puits, en considérant la température de sortie comme la température de sol, moyennant un dimensionnement et un fonctionnement validés.

L'énergie qu'aurait consommée un climatiseur équivalent (EER 2.5) pendant la période juillet - août est de **933 kWh**.

Energie absorbée du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h par le puits	2624 kWh
Puissance maximale absorbée par le puits	18651 W
Puissance moyenne absorbée de jour (8h-19h) par le puits	4232 W
Rendement brut ¹³	EER = 1

Performance du puits en rafraichissement du bâtiment⁸

Energie absorbée pour rafraichir à 26°C du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h	2333 kWh
Rendement de rafraichissement équivalent (consigne 26°C)	EER = 0,9

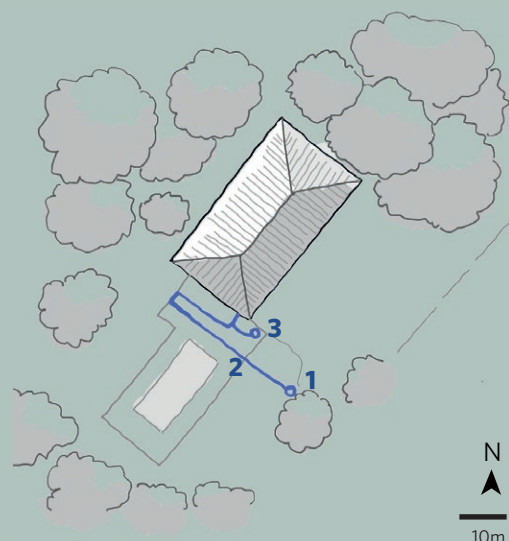
À retenir de ce projet

Son premier atout est sa dimension économique (pas de terrassement, pas de réseau collecteur). En revanche, son dimensionnement et son pilotage, via les ventelles de façade qui font office de by-pass, ne permettent pas d'obtenir des résultats significatifs.

La vitesse d'air dans les conduits élevée génère une importante perte de charge qui dégrade le EER du puits. Les branches sont très courtes (16m), ce qui laisse présager une saturation rapide du puits s'il était utilisé à 100%.

En revanche l'association puits / serre est intéressante car l'un et l'autre travaillent en addition l'hiver et le puits compense les entrées de chaleur par le vitrage l'été. Mais l'ouverture des ventelles en pied de façade perturbe fortement l'utilisation du puits.

5. Maison individuelle (06)



Légende :
1 - Entrée d'air
2 - Tube terre cuite - 45m - d=15cm
3 - Entrée by-pass

Identité du site

Maison individuelle en RDC sur VS
Construction neuve livrée en 2015
Surface : 130 m² - Volume : 350 m³

Localisation

Pays niçois (06)
Altitude : 303m

Sol

Blocs calcaires, sable 70%, argile 20%,
limons 10%

Surface active

Terrasse blanche 90%

Géométrie du puits

1 tube L = 45 m, diam = 0,15 m
Profondeur : 3 m
Arrivée au sous-sol de la maison

Matériaux et équipements du puits

Puits en terre cuite - Distribution en gaines galvanisées non isolées
Prise d'air bien protégée du soleil
By-pass automatique

Gestion de condensats

Régulés par la porosité de la terre cuite

Ventilation

Ventilateur dédié au puits
Débit : 555 m³/h max ; 405 m³/h min ; réglé à 50% soit 480 m³/h
Taux de renouvellement : 1,4 vol/h

Conception du bâtiment

Murs en briques isolés par l'intérieur
Plancher isolé sous chape
Toiture tuile isolée. Niveau RT 2012.

Description de l'installation

Contexte et motivations

La conception de cette maison vise une performance passive maximale. Le puits vient en complément d'une ventilation naturelle nocturne pour les journées de présence en télétravail ou les journées de repos par fortes chaleurs. La volonté des propriétaires est de se passer de climatisation.

Prise d'air protégée et surface active claire

La prise d'air est à l'ombre de végétaux toute la journée. Le puits chemine sous la terrasse recouverte de dalles blanches, une surface active réfléchissante qui limite les apports de chaleur dans le sol. Le puits débouche dans le vide sanitaire sous la maison. Lors de notre visite, nous avons observé de la condensation sur la conduite galva à l'arrivée.

Une VMC dédiée à fort débit

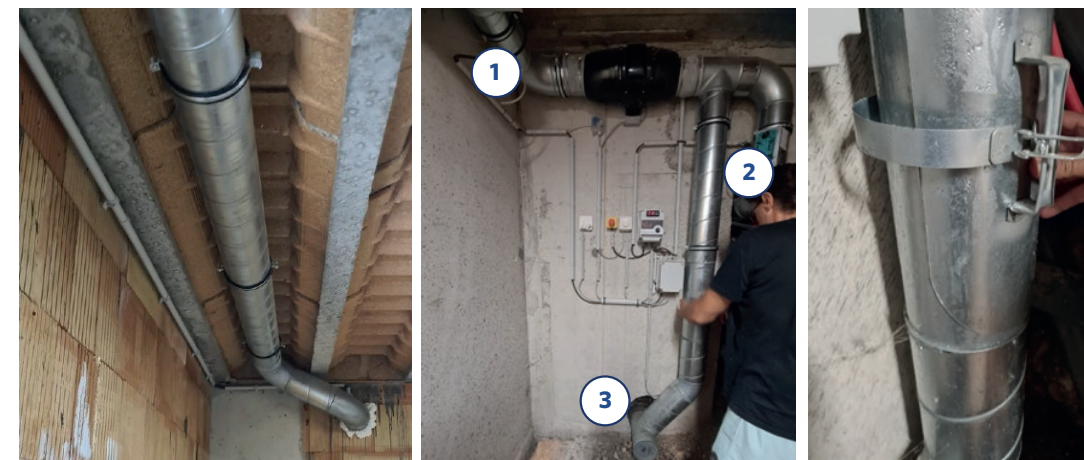
Le réseau de distribution chemine dans le vide sanitaire où il n'est pas calorifugé (photo n°1), mais où l'espace est frais. Au RDC, il est ensuite relié à une VMC simple flux dédiée (photo 2). Les usagers limitent



Prise d'air ombragée et filtrée
©EnvirobotBDM

le débit de la VMC pour baisser la nuisance sonore. Son débit est tout de même de 480 m³/h, ce qui reste un débit élevé pour une VMC en maison individuelle (1,4 vol/h en insufflation, quand une VMC hygro A standard est plutôt autour de 0,5 vol/h). L'air est ensuite évacué par la VMC hygiénique indépendante et par les fuites du bâtiment.

L'installation comporte un by-pass⁴ qui sélectionne automatiquement l'arrivée d'air (puits ou air extérieur) la plus favorable selon la période et de la température extérieure.



Réseau de distribution en gaines galvanisées non isolées.
1-Soufflage
2-By-pass
3-Arrivée puits

By-pass
©EnvirobotBDM

Analyse des résultats

Suivi hygrothermique

Comme le présente le graphique 9, la température en sortie du puits est extrêmement stable et toujours en dessous de 22°C (maximum atteint fin août). Fin juin, elle était de 18 °C.

Le gain maximal du puits (-15 °C) est atteint lors de la canicule du 10 au 18 août.

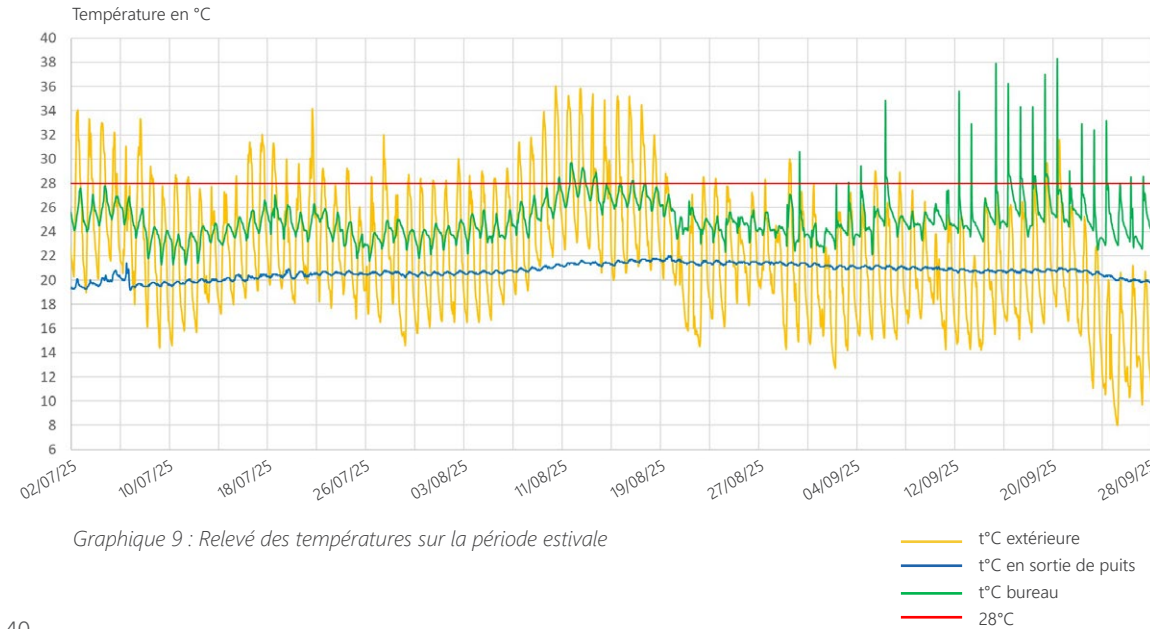
Deux périodes se dégagent : jusqu'au 18 août, le puits rafraichit jour et nuit. Après le 20 août, la température du puits est aux alentours de la moyenne extérieure quotidienne, il rafraichit le jour et réchauffe la nuit. Cela n'affecte pas le **confort intérieur qui reste stable entre 24 et 26°C** (les pics sont liés à l'insolation directe de la sonde pendant une heure le matin).

Comme le montre le graphique 10, **la puissance de rafraichissement⁸ apportée par le puits en journée équilibre complètement la chaleur entrante** dans le bâtiment (entre 500 et 1000W). La nuit, les deux puissances se cumulent pour un rafraichissement maximal.

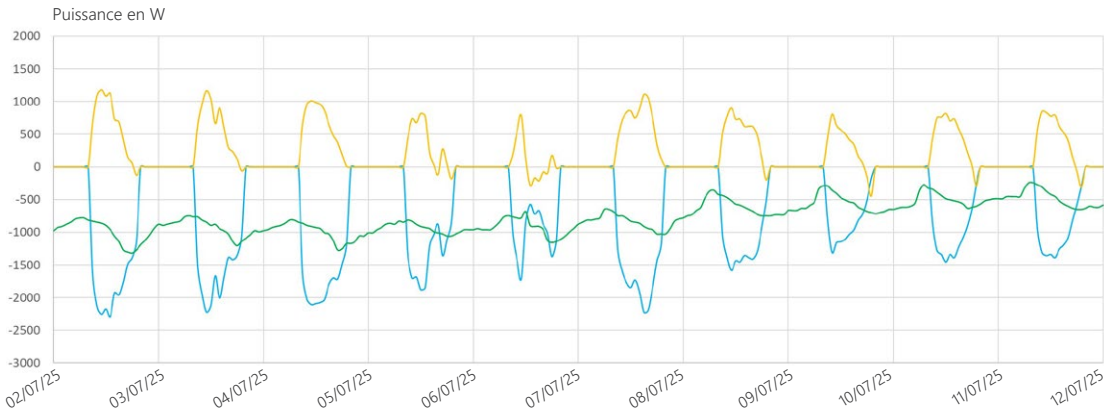


1. Boîtier de suivi du puits - 2. Prise d'air du by-pass
©EnvirobotBDM

Tout l'été, le puits apporte du frais au bâtiment, y compris pendant la deuxième phase après le 20 août.



Graphique 9 : Relevé des températures sur la période estivale



Graphique 10 : Equilibre entre les apports du puits et la chaleur entrante (parois + infiltration) en journée, sur dix jours


— chaleur absorbée par le puits
— pénétration de chaleur dans le bâtiment
— puissance de rafraichissement du puits

Performance du puits seul⁷

Energie absorbée du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h par le puits	799 kWh
Puissance maximale absorbée par le puits	3215 W
Puissance moyenne absorbée de jour (8h-19h) par le puits	808 W
Rendement brut ¹³	EER = 11.0

Performance du puits en rafraichissement du bâtiment⁸

Energie absorbée pour rafraichir à 26°C du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h	1495kWh
Rendement de rafraichissement équivalent (consigne 26°C)	EER= 20.5

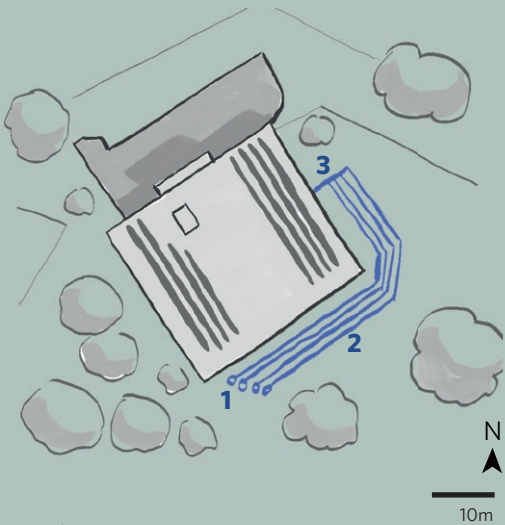
 L'énergie qu'aurait consommée un climatiseur équivalent (EER 2.5) pendant la période juillet - août est de **598 kWh**.

À retenir de ce projet

Le puits climatique associé à un taux de renouvellement de 1,4 vol/h est très efficace et compense les entrées de chaleur liées au bâtiment. Le système est très simple et laisse peu de place à une dérive technique.

- Les facteurs pouvant expliquer cette performance sont :
- Une surface de sol réfléchissante (terrasse blanche)
 - Une prise d'air à l'ombre des végétaux
 - Une profondeur du puits importante (3m)
 - Une longueur des tubes importante 45 m (en serpentins)
 - Un système simple sans panne ou défaut de régulation
 - Une VMC correctement dimensionnée et un taux de renouvellement important

6. Immeuble de bureaux 2 (13)



Légende :
1 - 4 entrées d'air
2 - 4 tubes terre cuite - L=45m - d=0,3m
3 - Collecteur

Identité du site

Bureaux en R+1
Bâtiment année 1970 réhabilité en 2023
Surface : 570 m² - Volume : 2800 m³

Localisation

Marseillais (13)
Altitude : 29 m - 2.5 km de la mer

Sol

Argile 11%, limons 29%, sable 60%

Surface active du puits

Herbe sèche faiblement ombragée

Géométrie du puits

4 tubes L= 45 m, diam = 0,3 m
Espacement des tubes 0,8 m
Profondeur : 2 - 2,5 m
Collecteur diam = 0,5 m
Arrivée dans le vide sanitaire

Matériaux et équipements du puits

Puits en terre cuite
Prise d'air ensoleillée abritée avec filtre G
By-pass automatique avant l'entrée dans CTA

Gestion de condensats

Régulés par la porosité de la terre cuite

Ventilation

VMC double flux à roue d'échange :
2690 m³/h (affiché sur la CTA). CTA HY-
DRONICAXR CLASSIC RHE 30 ROTS21 BE.

Conception du bâtiment

ITE 22 cm de laine de roche, menuiseries
bois, brises soleil orientables, panneaux
photovoltaïques

Description de l'installation

Contexte et motivations

L'objectif du projet de réhabilitation est une baisse des consommations énergétiques de 40% et une réduction des émissions de CO₂ de plus de 70%, tout en adaptant le bâtiment aux contraintes posées par le réchauffement climatique.

VMC double flux automatisée

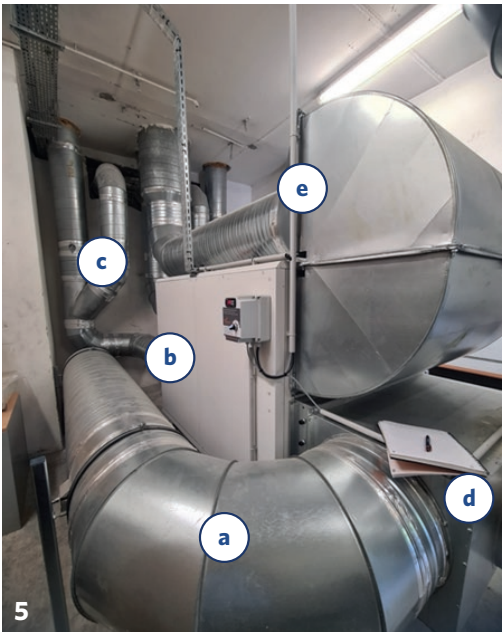
Le soufflage se fait dans les bureaux, la re-
prise d'air dans les circulations.
Le bâtiment est ventilé en continu avec un
arrêt de 20h à 5h la nuit et le week-end. Pour
la période estivale, le pilotage du by-pass se
fait via un mode automatique sur la CTA.

Les locaux sont climatisés (VRV bi-tubes),
ce qui rend l'action du puits non perceptible
pour les usagers.

A la différence d'un débit de 2690 m³/h
affiché sur la CTA, il a été mesuré un débit
de 1740 m³/h cumulé sur les 4 mesures en
entrée de puits. Les calculs sont faits avec
2690 m³/h soit environ 1 vol/h (plage pos-
sible de 700 à 3700 m³/h).

Question de maintenance

La maîtrise d'ouvrage a témoigné d'une diffi-
culté à garantir une maintenance sérieuse du
puits, notamment le changement des filtres
sur les prises d'air.



1- Prises d'air et conduits pendant le chantier ©Bureau Architecture Méditerranée. 2- Prise d'air. 3- Filtre G de la prise d'air. 4- Raccordement (diam 0,5) en vide sanitaire, non isolé. 5- a. Arrivée puits b. Soufflage c. Reprise d. Arrivée d'air ext via by-pass e. Rejet ©EnvirobotBDM

Analyse des résultats

Lors de nos essais, deux sondes n'ont pas démarré (en sortie du puits dans le collecteur et dans la CTA après by-pass). Néanmoins, le traitement des données recueillies sur les trois autres sondes permet de lire les états du système et d'apporter des enseignements sur le fonctionnement du puits.

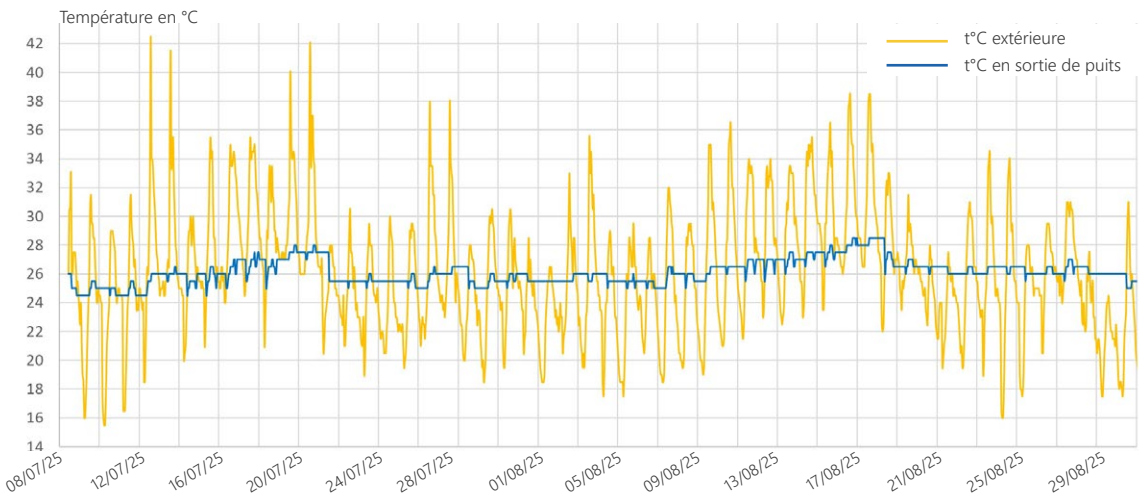
Suivi hygrothermique

Comme le présente le graphique 10, le puits délivre une température moyenne de 24,5°C en début d'été, 26,5°C en fin d'été, avec des pics à 28°C lors des canicules. On observe une montée en température progressive du puits sur tout l'été, qui s'explique par l'arrêt de la VMC la nuit, qui ne permet

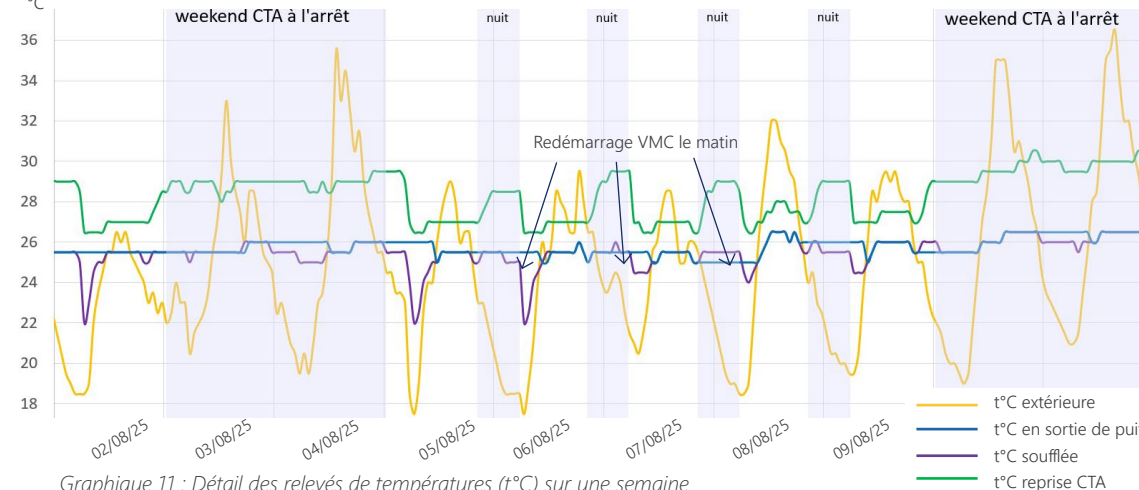
pas sa régénération¹¹, c'est-à-dire sa retombée en température. On observe un plateau du 20/07 au 07/08, alors que la moyenne de température quotidienne est inférieure à la température du puits.

Zoom sur une semaine

Comme le présente le graphique 11, la température de l'air soufflé reste stable la nuit et baisse seulement en début de matinée lorsque la VMC redémarre. Il n'y a donc pas de freecooling nocturne ni de régénération¹¹ du puits la nuit. La température d'air soufflé est toujours en dessous de la température de reprise. Le système puits + by-pass reste donc constamment en mode rafraichisse-



Graphique 10 : Relevé des températures (t°C) sur la période estivale



Graphique 11 : Détail des relevés de températures (t°C) sur une semaine



Graphique 12 : Equilibre des puissances en W

— chaleur absorbée par le puits
— puissance interne à évacuer
— puissance de rafraichissement du puits

ment pendant la journée, délivrant toujours de l'air plus frais que l'air intérieur. Pour un usage de bureaux, il est intéressant de comparer la part de puissance de rafraichissement⁸ apportée par le puits avec la puissance dissipée en journée (métabolique + informatique + éclairage, évaluée à 30 W/m² de bureau).

Performance du puits seul⁷

Energie absorbée du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h par le puits	1335 kWh / 1436 kWh (avec by-pass)
Puissance maximale absorbée par le puits	15548 W
Puissance moyenne absorbée de jour (8h-19h) par le puits	2214 W
Rendement brut ¹³	EER= 26,5

Performance du puits en rafraichissement du bâtiment⁸

Energie absorbée pour rafraichir à 26°C du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h	1056 kWh
Rendement de rafraichissement équivalent (consigne 26°C)	EER =19,5

L'énergie qu'aurait consommée un climatiseur équivalent (EER 2.5) pendant la période juillet - août est de **422 kWh**.

À retenir de ce projet

Le puits climatique fonctionne de manière efficace en journée uniquement. Il permet d'obtenir des taux de renouvellement importants sans introduire de chaleur supplémentaire dans le bâtiment. **Sa puissance de rafraichissement couvre 25% des émissions de chaleur internes.** Son apport est limité par le fait que le bâtiment est climatisé, alors que la température de sortie du puits moyenne est à 26°C en journée. Il est performant pour les raisons suivantes :

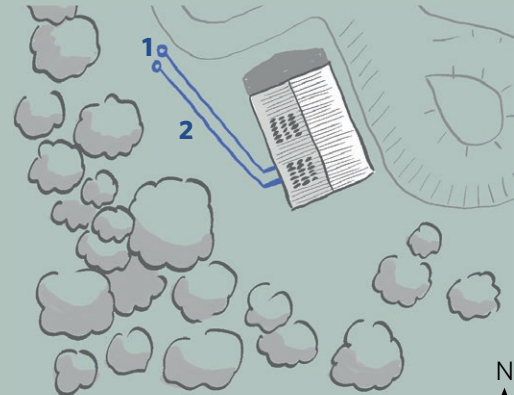
- Systèmes techniques bien dimensionnés et opérationnels
- Longueur des tubes qui assure une stabilité de la température en sortie de puits

Ses limites identifiées sont :

- Absence d'ombrage autour de la prise d'air
- Position du puits au Sud
- Absence de régénération du puits la nuit
- Absence de déchargement du bâtiment la nuit par ventilation naturelle.
- Débit de VMC limité.

7-8. Logements collectifs (83)

Bâtiment 7



1 - 2 prises d'air
2 - 2 tubes fonte - L=35m - d=0,3m

Identité du site : Immeuble de logements collectifs R+2 - Construction neuve livrée en 2023 - Surface : 1050 m² - Volume : 2600 m³

Localisation : Dracenois (83) - Alt. : 780 m

Sol : Remblais caillouteux

Surface active du puits : Butte enherbée sans ombre, orientée S-O

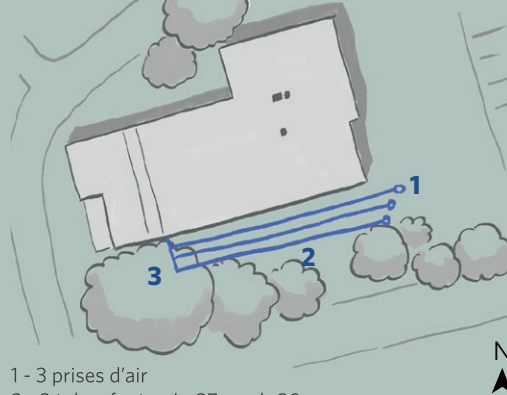
Géométrie du puits : 2 tubes L = 35 m, diam = 0,3 m, P=2 m
Arrivée dans le vide-sanitaire

Matériaux et équipements du puits :
Puits en fonte enduite - Distribution en gaines galvanisées isolées
Prise d'air tube acier non protégée du soleil

Ventilation : VMC double flux avec échangeur à contre-courant : 2130 m³/h, régime 60%, consigne : 22°C

Conception du bâtiment : Façades béton + ITE : polystyrène 10cm (14cm sur pignons)
Combles isolés par 35 cm de ouate de verre
Plancher bas sur VS isolé en sous face par flocage 10 cm

Bâtiment 8



1 - 3 prises d'air
2 - 3 tubes fonte - L=37m - d=30cm
3 - Collecteur

Identité du site : Immeuble de logements collectifs R+2 - Construction neuve livrée en 2023 - Surface : 1980 m² - Volume : 4800 m³

Localisation : Maures (83) - Alt. : 79 m

Sol : Argile 20%, limon 32%, sable 48%

Surface active du puits : Terre nue, partiellement ombragée

Géométrie du puits : 3 tubes L = 37 m, diam = 0,3 m, P=2 m
Arrivée dans le vide-sanitaire

Matériaux et équipements du puits :
Puits en fonte enduite - Distribution en gaines galvanisées isolées
Prise d'air tube acier non protégée du soleil

Ventilation : VMC double flux avec échangeur à contre-courant : 2980 m³/h (affichage CTA = 0,6 vol/h) - Consigne : 20°C
Batterie froide sur soufflage.

Conception du bâtiment : Façades béton + ITE : polystyrène 10cm (14cm sur pignons)
Combles isolés par 35 cm de ouate de verre
Plancher bas sur VS isolé en sous face par flocage 10 cm

Description de l'installation

Contexte et motivations

Pour ces bâtiments de logements très similaires (même MOA), l'installation d'un puits climatique s'intègre dans un objectif de sobriété énergétique. Elle est cohérente avec le besoin de repos en journée des usagers, qui travaillent la nuit.

Un cheminement assez long

Les deux puits climatiques pénètrent dans les vides sanitaires des bâtiments. Ils remontent via des gaines galvanisées isolées à travers le bâtiment jusqu'aux combles où ils sont raccordés à leur CTA.

Bien qu'ils soient isolés, ces réseaux d'acheminement sont assez longs (réseaux horizontaux et verticaux), ce qui augmente la perte de charge et les déperditions thermiques.

Manque de ventilation nocturne

Les bâtiments sont ventilés en continu avec un apport complémentaire en frais via des batteries froides sur l'air soufflé.

Sur le bâtiment n°7, la ventilation nocturne est activée et très efficace à cette altitude. Sur le bâtiment n°8, la ventilation nocturne n'est pas activée par les usagers à cause des nuisances sonores extérieures, ce qui dégrade fortement le confort d'été. Celui-ci n'est pas satisfaisant pour les usagers malgré la présence du puits.

Arrivée du puits dans le vide sanitaire. ©Sowatt



3 prises d'air tube acier By-pass ouvert ©Sowatt

By-pass constamment ouvert sur les deux sites

Les by-pass sont pilotés par des vannes papillon qui étaient ouvertes à 20% sur les deux installations. Cela engendre une arrivée importante d'air extérieur via le by-pass, et dégrade la température de l'air acheminé sur la CTA. Le responsable technique du site indique que les by-pass⁴ sont maintenus ouverts pour éviter la mise en sécurité des CTA (qui se mettent en défaut lorsqu'elle sont alimentées à 100% par les puits).

1-Air soufflé. 2-Air repris. 3-Air neuf après by-pass. 4-Air rejeté - ©Sowatt



Analyse des résultats

Les conclusions en termes techniques et performanciels sont identiques pour les deux sites.

Suivi hygrothermique (bâtiment 8)

Le gain en température proposé par le puits est de 4 à 6 °C par rapport à la température extérieure, lorsque celle-ci est maximale (>34°C). En dessous de 32°C extérieur, le gain du puits est très faible, de 1 à 2°C.

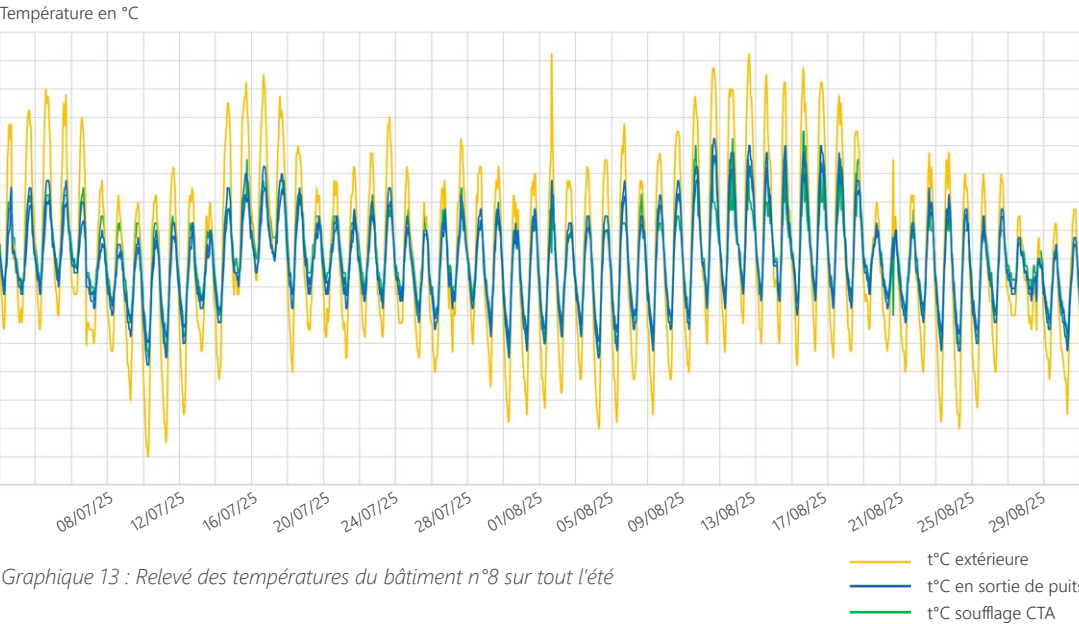
Le by-pass n'est pas ouvert à 100% la nuit car la température d'entrée d'air neuf sur la CTA (après by-pass) n'est pas égale à la température extérieure. La faiblesse du refroidissement nocturne est d'autant plus critique que les fenêtres restent fermées pour des raisons acoustiques, de jour comme de nuit.

Comme le montre le graphique 14, l'amplitude de température proposée en entrée de la CTA par le système puits + by-pass est importante, avec un profil journalier identique qui suit avec un amortissement de 2-3°C la courbe de température extérieure. Cela confirme l'absence de pilotage du by-pass, qui reste ouvert en continu et dilue l'air frais du puits dans l'air extérieur.

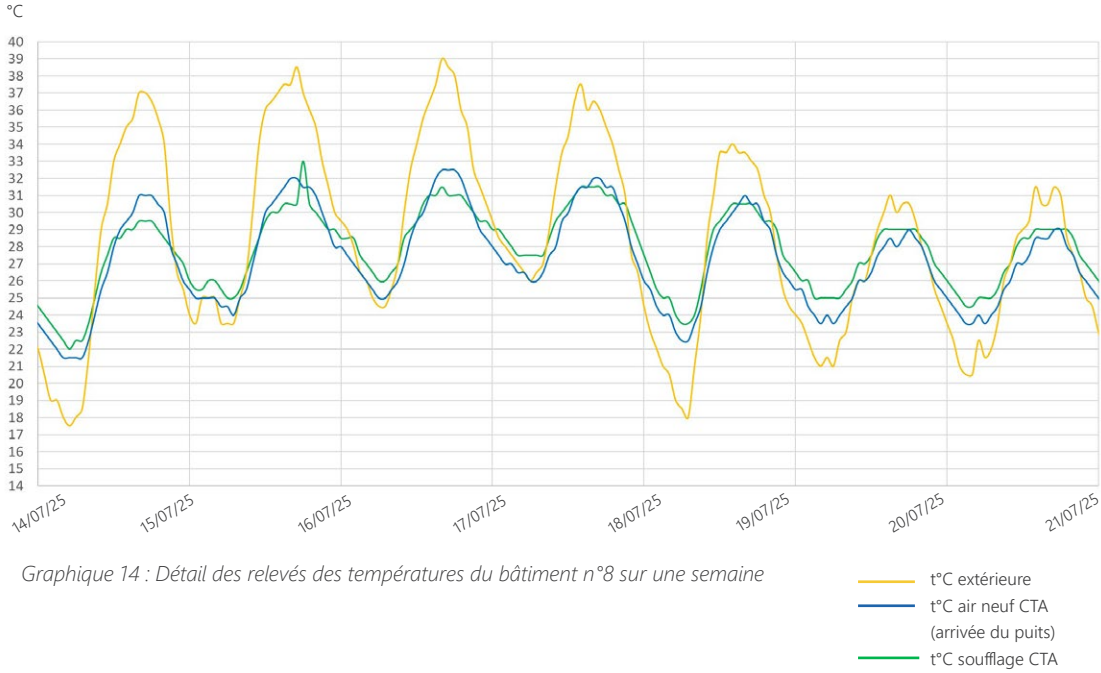
La température « CTA soufflage » (après échangeur de chaleur dans la CTA) est quasi systématiquement inférieure à la température « air neuf » issue du système puits + by-pass. Dans un objectif de maîtrise du confort d'été, l'apport de l'échangeur de chaleur de la CTA est donc prépondérant par rapport au puits (T soufflage < T air neuf). Il faudrait que la température « air neuf » issue du puits + by-pass soit bien inférieure pour qu'elle ait une influence plus marquée sur l'air soufflé dans le bâtiment (l'échangeur de la CTA serait alors en mode by-pass). Malgré tout, la température de sortie de la CTA est plus favorable pour le confort d'été avec un air neuf issu du puits plutôt qu'un air neuf directement pris à l'extérieur (+3°C)

Performance du puits + by-pass seul⁷

Energie absorbée du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h par le puits	2061kWh
Puissance maximale absorbée par le puits	11536 W
Puissance moyenne absorbée de jour (8h-19h) par le puits	3324W
Rendement brut ¹³	EER = 7.9



Graphique 13 : Relevé des températures du bâtiment n°8 sur tout l'été



Graphique 14 : Détail des relevés des températures du bâtiment n°8 sur une semaine

Performance du puits en rafraichissement du bâtiment⁸

Le bilan sur 26°C est négatif (aucun apport du puits en termes de rafraichissement).	
Energie absorbée pour rafraichir à 28°C du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h	507 kWh
Rendement de rafraichissement équivalent (consigne 28°C)	EER = 2

L'énergie absorbée simulée avec un puits et son by-pass pleinement fonctionnels sur les mois de juillet - août est de **2395 kWh** (avec des données météo moins favorables que nos mesures). Cela représente **16% de plus que les 2061 kWh mesurés** sur site cet été. Cela confirme que le by-pass non fermé en journée perturbe la performance à hauteur de 16% (la part de débit estimé qui passe par le by-pass).



L'énergie qu'aurait consommée un climatiseur équivalent (EER 2.5) pendant la période juillet - août est de **824 kWh**.

À retenir de ce projet

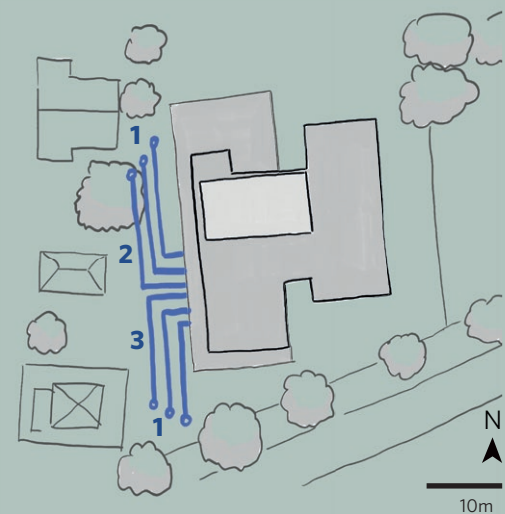
Sur ces deux bâtiments à la conception très similaire, les puits climatiques ne démontrent pas de performances satisfaisantes vis-à-vis du confort d'été.

D'une part, ils ne sont pas dans des conditions idéales de fonctionnement avec les **by-pass constamment ouverts** (contraints par une CTA dont le dimensionnement est trop juste), qui font perdre environ 16% d'énergie absorbée.

D'autre part, **le taux de renouvellement hygiénique est très bas** (0,6 vol/h), ce qui limite la puissance de rafraichissement des puits.

Enfin, la performance du puits est certainement dégradée par **la position des conduits** : sur un terrain au Sud ou Sud-Ouest, non protégé du soleil, à une profondeur de 2m, insuffisante pour résister aux fortes températures des canicules.

9. Centre médico-social (84)



Légende :
1 - 6 prises d'air
2 - 3 tubes P=2 m - L=30m - d=0,30m
3 - 3 tubes P=3,15m - L=30m - d=0,30m

Identité du site

Locaux tertiaires en R+2
Bâtiment neuf livré en 2024
Surface : 1575 m² - Volume : 4400 m³

Localisation

Pays d'Avignon (30)
Altitude : 80 m - Zone périurbaine

Sol

Remblais de sable

Surface active

Terre calcaire nue, sous une noue en façade Ouest 50%, Parking ventilé 50 %

Géométrie du puits

6 tubes L = 30 m, diam = 0,30 m
Sur deux strates de profondeur P = 2 m et P = 3,15 m
Arrivée via local technique R-1

Matériaux et équipements du puits

Prise d'air en tube fonte peinte en gris
Conduits en fonte enduite - Distribution en gaines galvanisées isolées

Gestion de condensats

Puisard dans le local technique avec pompe de relevage

Ventilation

VMC double flux avec échangeur à contre-courant : 7700 m³/h max (1.8 vol/h)
(réglage à pression constante abaissée de 40% hors occupation) - Batterie froide sur soufflage - CTA en toiture

Conception du bâtiment

ITE : enduit / fibre de bois 14 cm / béton
Toiture 160 mm de polyuréthane / béton
Plancher bas : Fibralth 12 cm et laine de roche 15 cm sur parking

Description de l'installation

Contexte et motivations

Ce bâtiment de locaux tertiaires, reconnu BDO niveau Or en phase réalisation et niveau E3C1, a pour ambition d'assurer un confort thermique de manière passive hors canicule. Seules quelques zones refuge sont climatisées.

Un cheminement très long

Le puits débouche dans le local technique situé au R-1 et chemine jusqu'à la CTA, située en toiture. Ce réseau aéraulique issu du puits jusqu'à la CTA est long mais bien isolé. D'après les relevés ci-après, il ne fait perdre que 0,5 °C.

Batterie froide complémentaire

Une batterie froide est branchée sur le soufflage de la CTA, et activée uniquement en période caniculaire. Les locaux disposent également de brasseurs d'air. Ces éléments viennent compléter le puits climatique et permettent d'atteindre une température intérieure de 26 °C maximum. Les bureaux ne comportent pas de climatisation terminale. Le confort d'été est unanimement validé par les usagers.

Une bonne instrumentation et maintenance

L'instrumentation du puits et de la CTA est bien détaillée et archivée dans la GTB. Des sondes intégrées à la GTB (dans le sol et sur le parcours de l'air dans le puits) ont permis de compléter les mesures prises dans le cadre de notre étude.

De plus, le mainteneur est impliqué et réactif. Les systèmes sont parfaitement opérationnels, y compris la GTB.

Sortie du puits dans le local technique au R-1 - ©Sowatt



Tubes enterrés en fonte ©PamBuilding



Prises d'air - ©Sowatt



Cheminement et CTA en toiture ©Sowatt

Analyse des résultats

Mesure de débit

Le débit dans les six branches est équilibré sachant que les valeurs mesurées fluctuent à +/- 0,5 m/s
Le débit mesuré est de 1270 m³/h par branche moyen soit 7620 m³/h total.

Suivi hygrothermique

La CTA a été à l'arrêt durant les congés des employés, du 12/07 au 13/08, ainsi que le 3/07 et le 15/08. En dehors de ces périodes, le bâtiment a fonctionné normalement. Les pertes de frigories dans le transport d'air entre la sortie du puits (au RDC) et l'entrée en CTA (en toiture) sont négligeables. En pleine journée, le gain moyen en température apporté par le puits est de 4°C. Chaque nuit le by-pass est actif, ce qui favorise le rafraichissement du bâtiment mais ne permet pas de décharger la chaleur accumulée par le puits de jour.

Puissance de rafraichissement

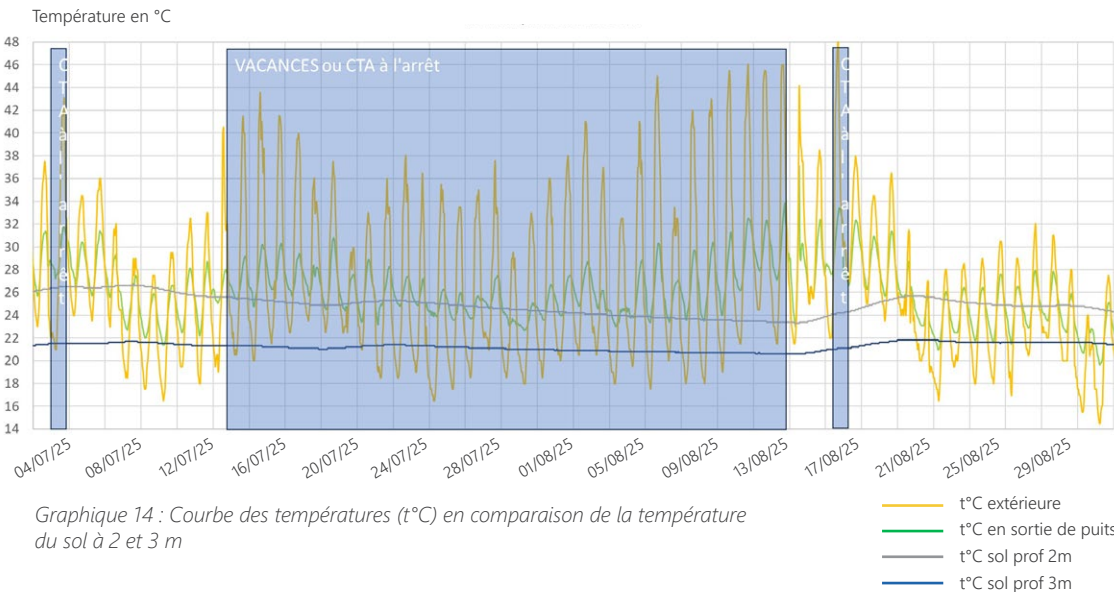
Comme le montre le graphique 15, la chaleur absorbée par le puits est maximale

en journée lorsque les températures sont caniculaires: autour du 3 juillet (t°ext : 34°C à 37 °C) et à la rentrée après le 13 août (t°ext : 34 à 38°C).
La chaleur absorbée par le puits (puissance négative ci-dessous) varie de 6 kW (T°ext 28°C) à 16 kW (canicule).

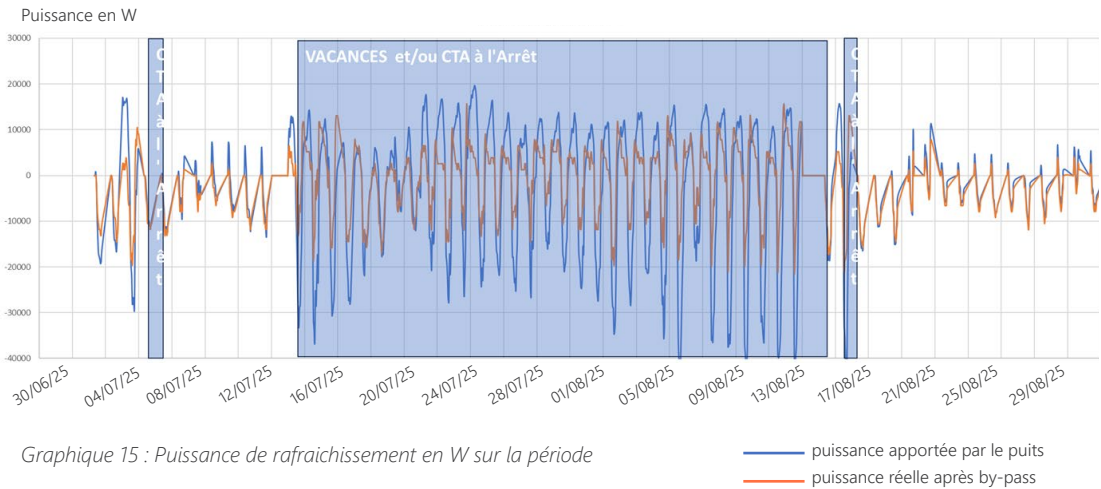
Températures de sol

Grâce à l'instrumentation intégrée à la GTB, nous avons pu relever la température de sol (Graphique 14). À 2m, celle-ci fluctue entre 23 et 27°C. La température de sol à 3m fluctue entre 20 et 22°C. Cette profondeur représente un important gain de puissance thermique.

La température de sortie du puits en fonctionnement est fortement impactée par la température extérieure. Elle suit ses fluctuations en amortissant les pics de 2 à 6°C en journée. La température de sortie du puits en journée oscille fortement (amplitude de 4 à 6°C) et dépasse fréquemment la température de sol à 2m de profondeur. Cela indique que le potentiel de rafraichissement du sol n'est pas exploité complètement : le puits sature.



Graphique 14 : Courbe des températures (t°C) en comparaison de la température du sol à 2 et 3 m



Graphique 15 : Puissance de rafraichissement en W sur la période

Performance du puits + by-pass seul

Energie absorbée du 1er juillet au 31 août entre 8h et 19h par le puits	1540 kWh
Puissance maximale absorbée par le puits	17017 W
Puissance moyenne absorbée de jour (8h-19h) par le puits	5778 W
Rendement brut ¹³	EER = 4.6

Performance du puits en rafraichissement du bâtiment⁸

Le bilan sur 26°C est négatif (aucun apport du puits en termes de rafraichissement).	
Energie absorbée pour rafraichir les bureaux (t°C référence = t°C bureau) du 1er juillet au 31 août (hors congés) entre 8h et 19h	686 kWh
Rendement de rafraichissement équivalent (consigne 26°C)	EER = 2

L'énergie qu'aurait consommée un climatiseur équivalent (EER 2.5) pendant la période juillet - août est de **275 kWh**.

À retenir de ce projet

Le système est parfaitement opérationnel, pour autant son rendement reste modeste (EER =2).

- Cela peut s'expliquer par :
- La position du puits partiellement (50%) sous le parking (à l'abri du rayonnement du ciel la nuit et dans un microclimat plus chaud).
 - La **surface active extérieure** du puits et les prises d'air sont dans un micro-climat constitué par la façade du bâtiment (blanche et un sol encore peu végétalisé), la zone est faiblement ventilée et surchauffée l'après-midi.
 - Le **débit dans les branches** est au maximum (temps de contact plus faible)
 - La **longueur des branches** est dans la plage basse recommandée (27 à 29m)
 - La **température de sol** à 2m est assez élevée (elle baissera une fois ombragée par la végétation qui va se développer)
 - Le **by-pass est actif chaque nuit**, il limite la régénération du puits en froid.



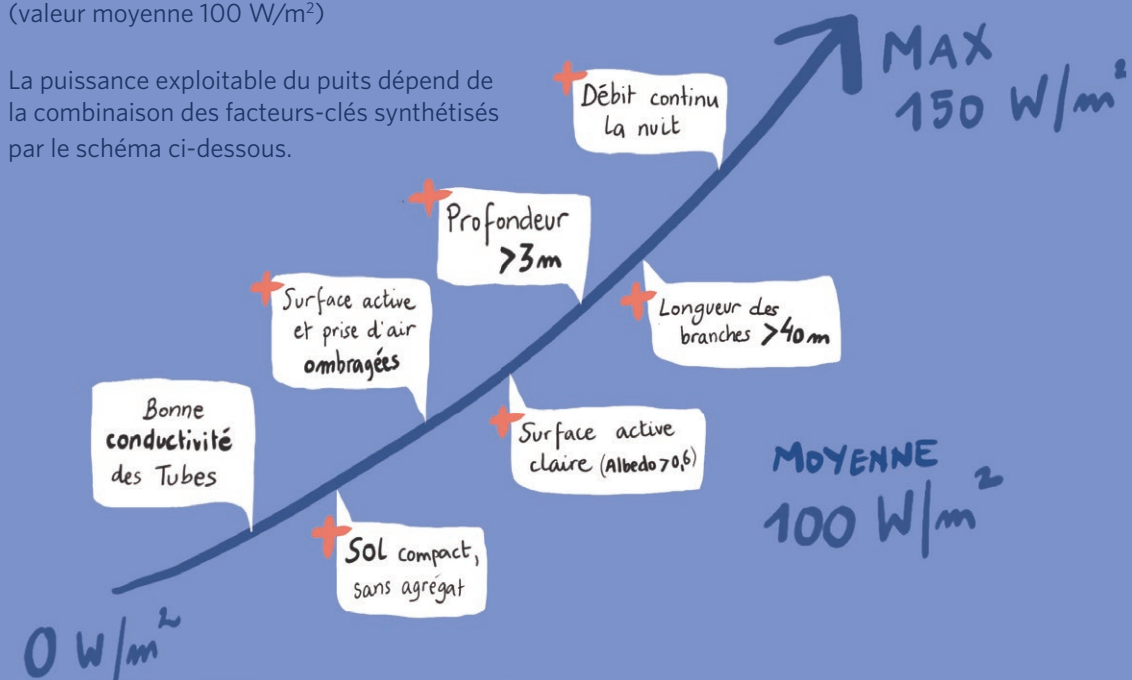
COMPLÉMENTS

Quelques ordres de grandeurs en synthèse

Coût moyen de fourniture (hors travaux de VRD) : **13 à 17€ /m³h¹**

Puissance maximale (chaleur absorbée par le puits) par m² de surface d'échange avec le sol² : **entre 0 et 150 W/m²** (valeur moyenne 100 W/m²)

La puissance exploitable du puits dépend de la combinaison des facteurs-clés synthétisés par le schéma ci-dessous.

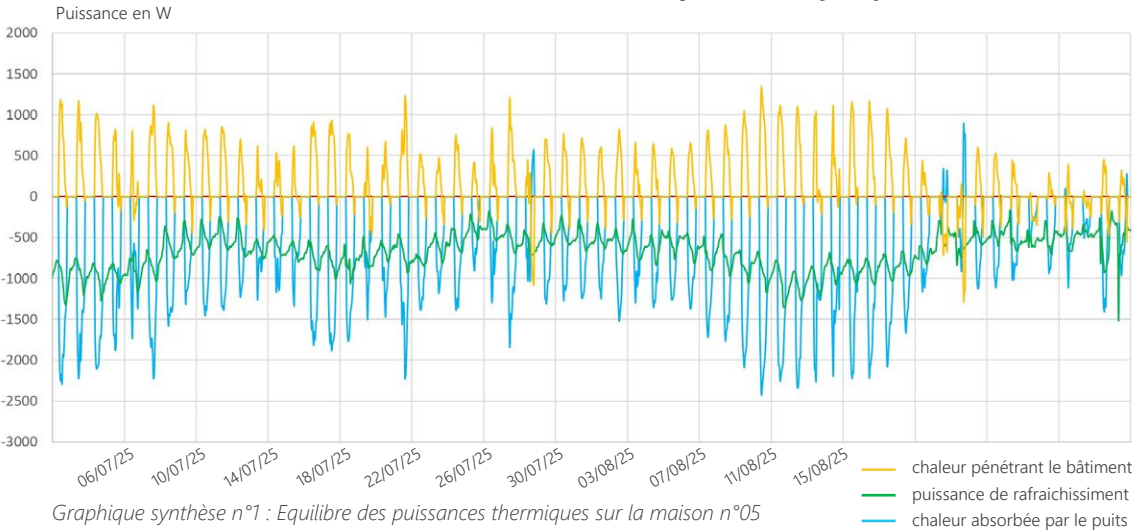


1. Données fournies par le fabricant Elixair
2. Nombre de tubes x périmètre x longueur

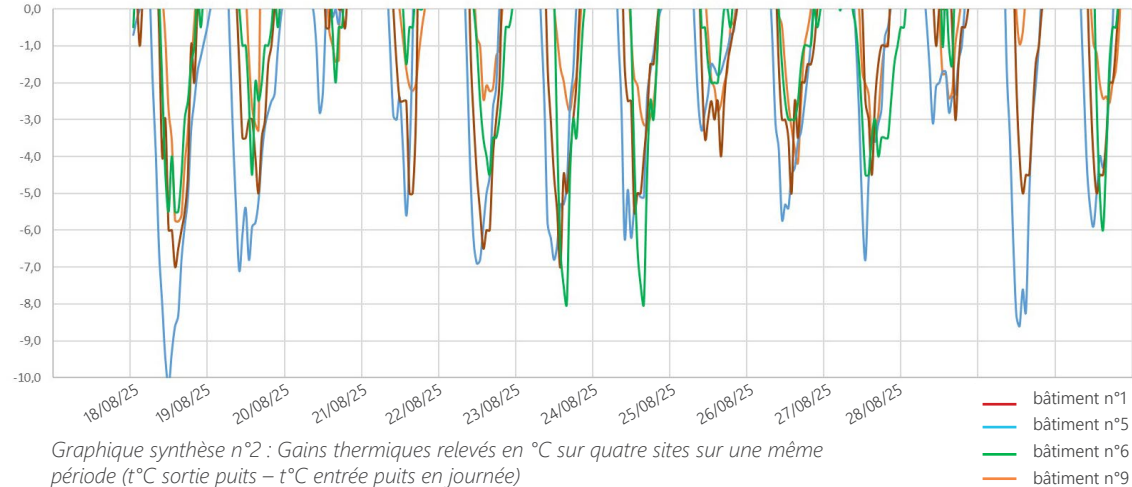
Quelques graphiques représentatifs de l'étude

Equilibre de puissances thermiques :

Dans le cas de la maison n°05 (maison bio-climatique en Alpes-Maritimes située à 303 m d'altitude), avec un renouvellement d'air de 1,4 vol/h, la puissance de rafraichissement apportée par le puits climatique (courbe verte) équilibre la puissance thermique pénétrant le bâtiment par les parois et les ouvertures (courbe jaune).



Graphique synthèse n°1 : Equilibre des puissances thermiques sur la maison n°05



Graphique synthèse n°2 : Gains thermiques relevés en °C sur quatre sites sur une même période (t°C sortie puits - t°C entrée puits en journée)

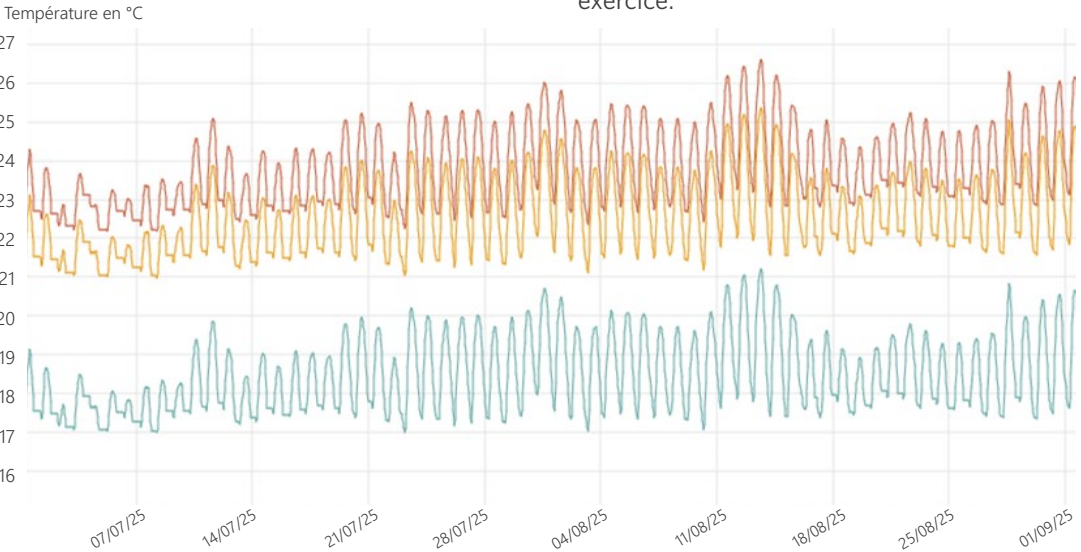
Gains thermiques :

Le graphique synthèse n°2 présente les gains thermiques (t°C sortie puits - t°C entrée puits en journée) observés sur quatre sites représentatifs (nb : les conditions météo ne sont pas les mêmes sur chaque site). **On peut considérer que le puits climatique en été permet un gain moyen de -4°C par rapport à la température extérieure. Ce gain monte lors des canicules jusqu'à - 8°C à -10°C pour les systèmes les plus performants.**

Ce que nous enseigne la simulation thermique dynamique

Comparaison relevés et STD :

Les relevés physiques de température en sortie de puits ont été comparés à des simulations thermiques dynamiques via le logiciel PLEIADES d'IZUBA ENERGIES. Le logiciel ne permettant pas de simuler à partir des données collectées de température extérieure, nous avons sélectionné par itération des fichiers météo permettant d'atteindre une contrainte estivale équivalente à celle mesurée (cumul des DH 26°C du 1er juillet au 31 août sur la température extérieure). **La comparaison des résultats de simulations aux mesures réelles s'avère relative-**



Graphique synthèse n°3 : Température en sortie de puits de la maison n°05, suivant trois types de surface active, par STD

— sol végétal clairsemé
— sol végétal dense
— sol réfléchissant (dalles claires)

Influence des natures de surface active sur la température de sortie du puits

D'après le graphique synthèse n°3, le choix de la surface active est essentiel pour la simulation. Nous avons confirmé dans notre

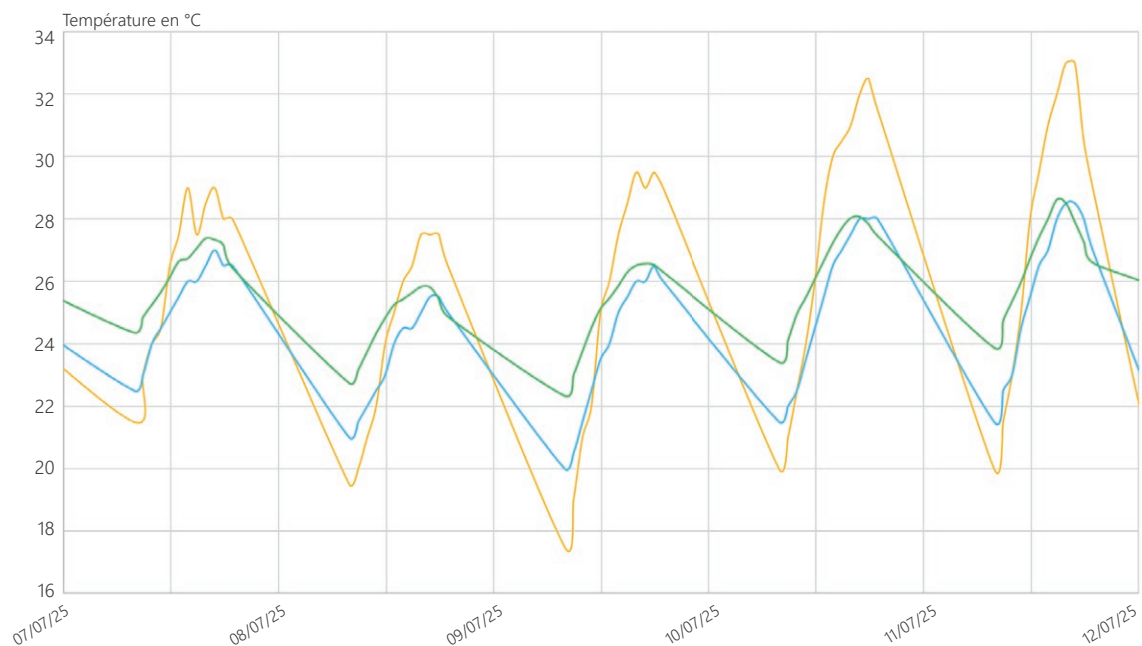
ment proche.

D'une manière générale, avec les données du site renseignées (géométrie du puits, surface active, scénario de ventilation), **on retrouve des températures en sortie de puits simulées proches à +/-1°C des température mesurées.**

Il nous semble donc intéressant de mettre en avant les variations qu'on peut observer sur la STD en fonction des paramètres indiqués (géométrie, sol, surface active...), **qui nous permettent d'envisager les leviers de performance du puits.** Seule la STD permet cet exercice.

étude sur la maison n°5 qu'une surface réfléchissante (terrasse calcaire blanche) contribuait fortement à la performance du puits. L'ombrage dense est le second levier le plus performant.

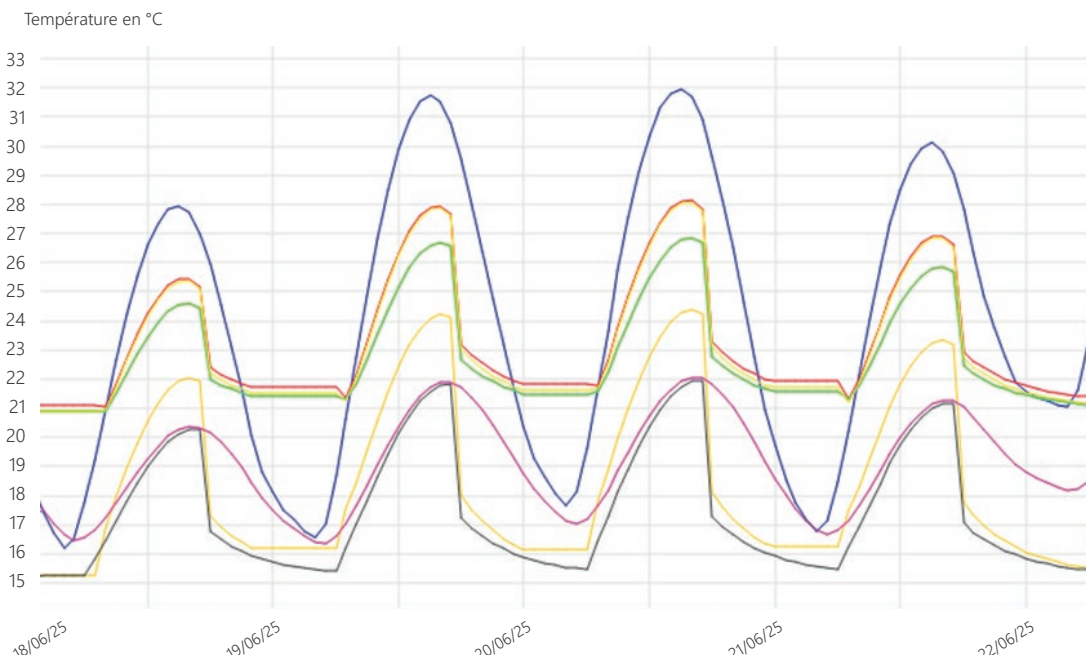
Comparaisons des différents leviers d'optimisation des puits climatiques par STD sur le bâtiment n°9 :



Graphique synthèse n°4 : Températures mesurées sur le bâtiment n°9 en période caniculaire

— t°C extérieure
— t°C en sortie de puits
— t°C entrée CTA

Pour des pics de température extérieure compris entre 28 et 32°C, les températures mesurées (graphique synthèse n°4) en sortie de puits fluctuent entre 26 et 28°C, tandis que les températures en sortie de puits simulée (graphique synthèse n°5) avec la configuration du puits existante (courbe rouge) fluctuent entre 25.5°C et 28°C. Même si l'historique météo amont influe sur les résultats de mesure ou de simulation, **les résultats de température relevée et simulée sont très proches.**



Graphique n°5 : Températures en sortie de puits du bâtiment n°9, simulées par STD

— extérieur
— puits existant : sol nu, 3 tubes P=2 m, 3 tubes P=3 m, L=28 m
— sol nu, 6 tubes P=3 m, L=28 m
— sol nu, 6 tubes P=3 m, L=40 m
— sol réfléchissant, 6 tubes P=3 m, L=40 m
— sol réfléchissant, 6 tubes P=3 m, L=60 m
— sol réfléchissant, 6 tubes P=3 m, L=60 m, VMC 24h/24

La STD permet d'identifier les leviers les plus efficaces de performance. Le graphique synthèse n°5 montre que **les facteurs les plus marquants sur la performance du puits sont la longueur des tubes** (40m - courbe verte et 60 m - courbe grise) **et la surface réfléchissante** (courbe orange). Enfin, la STD ne montre pas de gain supplémentaire en ventilant la nuit (courbe rose).

La STD nous montre ainsi que, sur le bâtiment n°9, **le cumul de paramètres favorables pourrait théoriquement permettre**

de porter la température en sortie puits de 28°C relevés à 22°C. Chaque projet comporte ses contraintes qui ne permettent pas de valider systématiquement tous les critères optimaux. Mais partant de ces observations, il sera intéressant de privilégier deux paramètres fondamentaux : la longueur du puits et sa surface active qui sera réfléchissante ou à minima ombragée pour la performance estivale. En fonction du projet, **le cumul des facteurs peut multiplier jusqu'à 3,4 la performance du puits dans les périodes caniculaires.**

Limites de notre étude

Certains sujets n'ont pas pu être clarifiés comme :

- L'impact du by-pass sur la régénération du puits la nuit. Nous n'avons pas pu préciser dans quelle mesure le maintien du débit d'air dans le puits la nuit contribuait à sa performance de jour. Les deux puits sans by-pass et en ventilation continue proposent les amplitudes de température en sortie puits les plus faibles. Quel serait le débit nécessaire à maintenir de nuit pour à la fois régénérer le puits et limiter la consommation d'énergie ?
- L'impact du sol sur la performance : d'après les STD (cf p59), les variations de performance en fonction du type de sol sont négligeables comparées aux autres leviers abordés plus haut. Nos relevés n'ont pas pu permettre de confirmer cette hypothèse.
- L'impact du matériau des tubes. Sans étude comparative en fixant les autres paramètres, il est difficile de se prononcer. L'étude montre que de très bons résultats sont accessibles quelle que soit la technologie choisie.

Pour aller plus loin

A propos des puits climatiques

Guides généraux :

Fiche technique de l'ADEME - Puits climatiques - Juillet 2012

Le Puits climatique - François VALLET et Maxime DULUC - Envirobat Méditerranée - Octobre 2009

Puits canadiens/provençaux : guide d'information, CETIAT, 2008

Performances des puits climatiques, Suivis instrumentés et simulations - Règles de l'Art Grenelle Environnement - Août 2014

Ouvrages :

Puits canadien et ventilation basse énergie - Frédéric Loyau - Editions l'inédite - 2009

Le puits canadien - Bruno Herzog - Editions Eyrolles - Novembre 2007

Outils de conception :

Dimensionnement du puits climatique - Analyse, modélisation, validation d'un modèle de simulation dynamique pour les puits « canadiens » ou « provençaux », PREBAT, IZUBA énergies, Ecole des Mines de Paris, SOLARTE, INSA de Toulouse - 2007

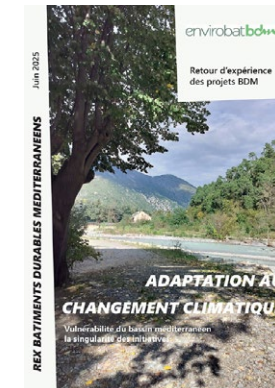
Feuille de calcul sous Excel "Buried pipes" conçue par Pierre HOLLMULLER Prédimensionnement de puits climatiques : <https://www.enviroboite.net/feuille-de-calcul-buried-pipes>

AERODUCT - Feuilles de calcul sous Excel pour déterminer les pertes de charge des installations de ventilation Calcul gaine de ventilation, gaines, réseau, réseaux, conduit, conduits, mécanique, air, aéraulique, aérauliques

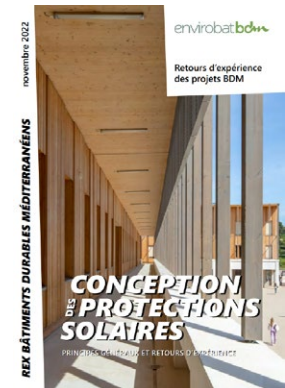
D'autres ressources d'EnvirobatBDM à propos du confort d'été



Retours d'expérience
Rafraîchissement adiabatique
2024



Retours d'expérience
Adaptation au changement
climatique
2025



Retours d'expérience
Conception des protections
solaires
2022

envirobatbdm

Créée en 2003, EnvirobatBDM est une association régionale de professionnels de l'acte de bâtir. Elle oeuvre pour la généralisation de la construction et de l'aménagement durable. En 2008, elle a initié la démarche Bâtiments durables méditerranéens (BDM) qui vise à accompagner les projets de manière contextualisée, participative et ouverte.

EnvirobatBDM

Résidence Le Phocéan
32 rue de Crimée
13003 Marseille
Tel : 04 95 043 044
Fax : 04 91 84 62 09
contact@envirobatbdm.eu
www.envirobatbdm.eu

Antenne Alpes-Maritimes
Pôle InnovaGrasse
4 traverse Dupont
06130 Grasse

Antenne Hautes-Alpes
2 route d'Embrun
05380
Châteauroux-les-Alpes

Soutenu
par

