



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

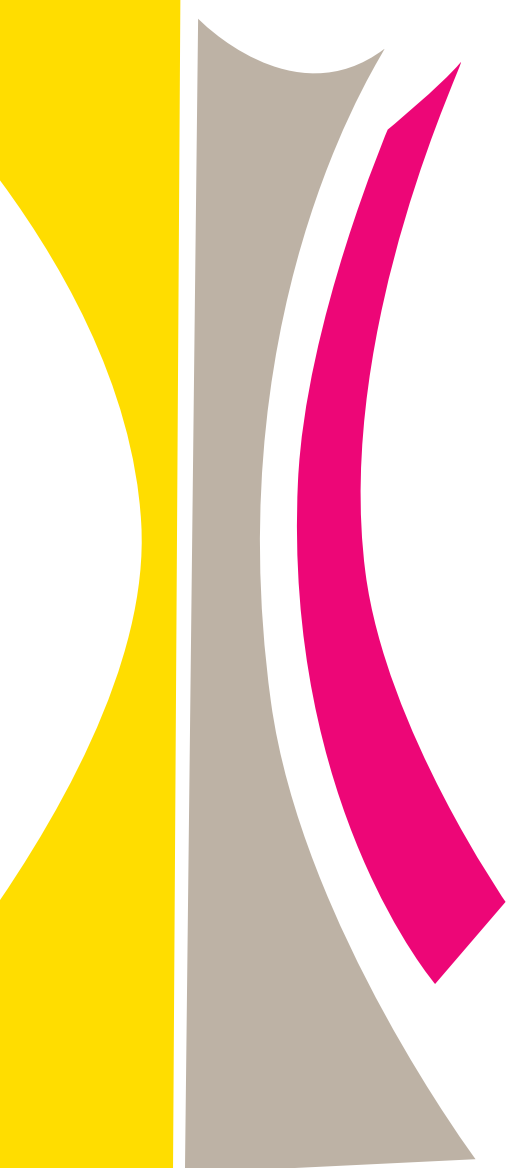
GUIDE

PUITS CLIMATIQUES

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

MARS 2015

NEUF-RENOVATION



ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT-PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les **Recommandations Professionnelles** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les **Guides** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les **Calepins de chantier** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les **Rapports** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les **Recommandations Pédagogiques** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

1 - Domaine d'application	7
2 - Références	9
2.1. • Références réglementaires	9
2.2. • Références normatives	9
2.3. • Autres documents	10
3 - Présentation générale d'un puits climatique	11
4 - Différentes configurations de puits climatiques	13
5 - Organisation du chantier	15
6 - Déclaration de travaux et déclaration d'intention de commencement de travaux	18
7 - Etude préalable à la mise en œuvre d'un puits climatique	19
7.1. • Considérations sur la nature du sol	19
7.1.1. • Considérations géotechniques	19
7.1.2. • Caractéristiques thermiques du sol	20
7.2. • Considérations sur l'environnement extérieur	21
7.3. • Considérations sur le bâtiment	22
7.4. • Considérations sur le terrain	23
8 - Puits climatique et sécurité incendie	24
9 - Critères de choix des produits pour la mise en œuvre d'un puits climatique	25
9.1. • Bâtiments tertiaires et autres bâtiments avec présence d'un bureau d'études techniques	25
9.1.1. • Critères sanitaires	25
9.1.2. • Critères d'étanchéité	26
9.1.3. • Critères mécaniques	26
9.1.4. • Critères aérauliques	26
9.1.5. • Critères thermiques	26
9.2. • Bâtiments en l'absence d'un bureau d'études techniques	27

10 - Caractéristiques des paramètres influençant la performance d'un puits climatique	28
10.1. • Profondeur d'enfouissement des tubes	28
10.2. • Diamètre des tubes et vitesse d'air	29
10.3. • Longueur des tubes	30
11 - Dimensionnement du puits climatique	31
12 - Prise d'air neuf	35
12.1. • Localisation de la prise d'air neuf	36
12.2. • Limitation de la contamination du réseau et maintenance	36
12.2.1. • Grille de protection	36
12.2.2. • Niveau de filtration	36
12.3. • Dimensionnement de la prise d'air neuf	38
13 - Réseau d'air	39
13.1. • Différents types de tubes	39
13.2. • Dispositions spécifiques pour favoriser la maintenance et limiter la contamination du réseau	39
13.2.1. • Stockage des tubes	39
13.2.2. • Tracé du réseau	40
13.3. • Vitesses limites dans les tubes	40
13.4. • Dimensionnement aéraulique des tubes	41
13.5. • Dimensionnement mécanique des tubes	41
14 - Ventilateur	42
14.1. • Caractéristiques aérauliques	42
14.2. • Dimensionnement du ventilateur	43
15 - Evacuation des condensats	44
16 - Traversée de paroi	45
17 - Bypass et régulation	46
18 - Remblaiement	48
19 - Opérations de contrôle à prévoir	49
19.1. • Contrôle du compactage	49
19.2. • Inspection télévisuelle	50
19.3. • Contrôle de l'étanchéité du réseau	51
20 - Cas particulier : puits climatique en habitat individuel en l'absence de bureau d'études techniques	52
20.1. • Critères de choix des produits	52
20.2. • Critères de mise en œuvre	52
20.3. • Critères de contrôle	53

Annexes 54

ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES THERMIQUES DU SOL.....	55
ANNEXE 2 : DETERMINATION DE LA LONGUEUR TOTALE DU TUBE	57
ANNEXE 3 : DETERMINATION DE LA PROCEDURE DE DIMENSIONNEMENT DU PUIT.....	59
ANNEXE 4 : ABAQUES DE DIMENSIONNEMENT.....	64
ANNEXE 5 : EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT PAR ABAQUES	71

Domaine d'application

1



Ce guide concerne les installations nouvelles de puits climatiques mises en œuvre en habitat et en tertiaire, tant en construction neuve qu'en rénovation.

Le guide fournit les prescriptions relatives à la conception et au dimensionnement du puits climatique.

Le puits climatique est défini depuis la prise d'air neuf jusqu'à la pénétration dans le bâtiment. L'installation de ventilation raccordée au puits climatique ne fait pas partie du système et n'est donc pas traitée dans ce guide. Cependant, pour s'assurer du bon fonctionnement de l'installation complète intégrant le puits climatique et le système de ventilation ou de traitement d'air, il est intégré des prescriptions relatives :

- au bipasse du puits climatique et à sa régulation ;
- à l'installation complète associant le puits climatique et le système aéraulique.

Le puits climatique ne peut pas assurer seul la ventilation générale d'un bâtiment. Un système d'extraction d'air est toujours à prévoir en complément d'une installation de puits climatique.

Les informations contenues dans ce guide s'appliquent dans les conditions suivantes :

- en France métropolitaine ;
- en zone non inondable ;
- pour une hauteur de recouvrement des tubes inférieure à 6 mètres ;
- pour un réseau de tubes disposé sur un seul et même niveau (pas de superposition de tubes) ;
- pour un réseau totalement enterré depuis la prise d'air neuf jusqu'à la pénétration dans le bâtiment (aucune partie du réseau n'est située hors sol).

Commentaire

Ce guide ne comporte aucune mention sur la rentabilité ou la performance du puits climatique. Ces éléments sont difficiles à quantifier car ils dépendent du comportement du sol et de l'occupation du bâtiment. Le dimensionnement thermique du système permet toutefois de donner des ordres de grandeurs quant à l'intérêt d'un puits climatique.

Les données fournies dans ce guide ne permettent pas de garantir les performances énergétiques de l'installation.

Références

2



2.1. • Références réglementaires

- Circulaire du 9 août 1978 modifiée relative à la révision du Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT)
- Code du Travail, Quatrième partie, Livre V, Titre III, Chapitre IV, Section 4 « Travaux de terrassement à ciel ouvert »
- Arrêté du 25 juin 1980 modifié portant approbation des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public
- Arrêté du 31 janvier 1986 modifié relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation
- Arrêté du 19 février 2013 encadrant la certification des prestataires en géoréférencement et en détection des réseaux et mettant à jour les fonctionnalités du téléservice « réseaux-et-canalizations.gouv.fr »
- Fascicule 70 « Ouvrages d'assainissement » du Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG), novembre 2003

2.2. • Références normatives

- NF DTU 68.3 P1-1-1 Installations de ventilation mécanique – Partie 1-1-1 Règles générales de calcul, dimensionnement et mise en œuvre – Cahier des clauses techniques types
- NF EN 124 – Dispositifs de couronnement et de fermeture pour les zones de circulation utilisées par les piétons et les véhicules
- NF EN 1610 – Mise en œuvre et essai des branchements et collecteurs d'assainissement

- NF P 98-331 – Chaussées et dépendances – tranchées : ouverture, remblayage, réfection
- NF P 98-332 – Chaussées et dépendances – Règles de distance entre les réseaux enterrés et règles de voisinage entre les réseaux et les végétaux
- NF P 94-500 – Missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications
- NF EN 13053 – Ventilation des bâtiments – Caissons de traitement d'air – Classification et performance des unités, composants et sections
- NF EN 13779 – Ventilation dans les bâtiments non résidentiels – Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de conditionnement d'air
- NF EN 15251 – Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique
- NF EN 12613 – Dispositifs avertisseurs à caractéristiques visuelles, en matière plastique, pour câbles et canalisations enterrés
- NF C 15-100 – Installations électriques à basse tension
- NF P 94-063 – Sols : Reconnaissance et essais – Contrôle de la qualité du compactage – Méthode au pénétromètre dynamique à énergie constante – Principe et méthode d'étalonnage des pénétroden-sitographes – Exploitation des résultats – Interprétation
- NF P 94-105 – Sols : Reconnaissance et essais – Contrôle de la qualité du compactage – Méthode au pénétromètre dynamique à énergie variable – Principe et méthode d'étalonnage du pénétromètre – Exploitation des résultats – Interprétation
- NF EN 779 – Filtres à air de ventilation générale pour l'élimination des particules – Détermination des performances de filtration

2.3. • Autres documents

- NF 205, Référentiel de Certification – Ventilation mécanique contrôlée – Novembre 2012 (Révision N°5)

Présentation générale d'un puits climatique

3



Un puits climatique est un système géothermique à air qui utilise l'inertie thermique du sol pour préchauffer ou rafraîchir l'air insufflé dans le bâtiment. L'intérêt d'un tel système repose sur le constat suivant : en France, la température de l'air extérieur peut varier de -20 à 35°C tout au long de l'année suivant les saisons et la région alors que la température du sol, à quelques mètres de profondeur, reste relativement constante, entre 10 et 15°C .

Un puits climatique permet d'assurer le préchauffage ou le rafraîchissement de l'air neuf d'une installation de ventilation ou de traitement d'air.

Il est composé des éléments suivants (Figure 1) :

- une entrée d'air neuf équipée d'une grille para-volatile et anti-rongeurs et d'un filtre ;
- un ou plusieurs tubes pour le passage de l'air. Ces tubes sont mis en place avec une pente minimale permettant l'écoulement des condensats et évitant ainsi la stagnation d'eau et d'humidité résiduelle ;
- des accessoires tels que les coudes, les tés, les joints... adaptés aux tubes et assurant l'assemblage complet du réseau ;
- une boîte d'inspection ou un regard permettant les opérations de maintenance et d'inspection de l'installation ;
- un dispositif spécifique de collecte et d'évacuation des condensats adaptés selon la configuration du puits climatique.

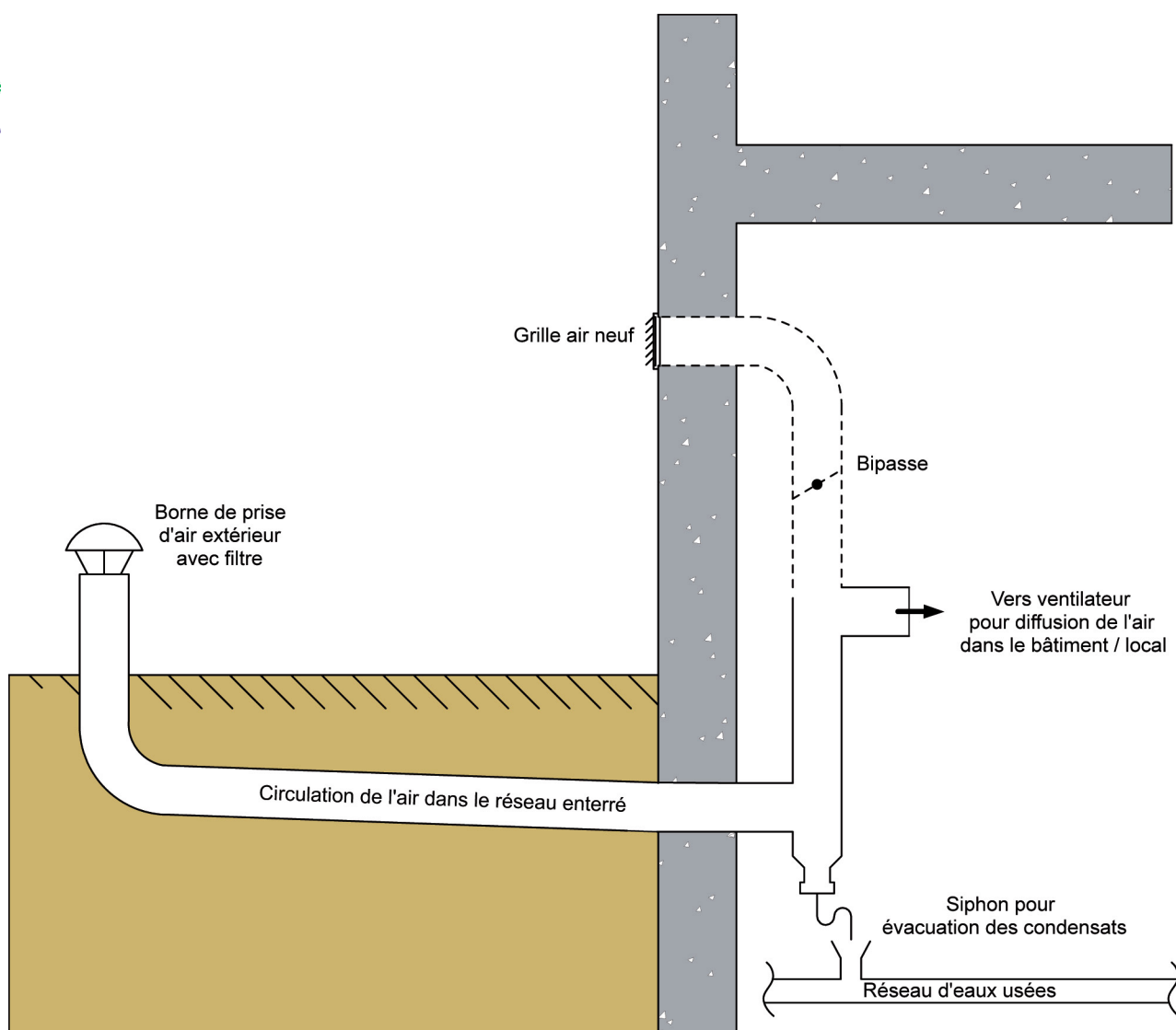
L'installation de puits climatique est, dans tous les cas, à raccorder à une installation de ventilation ou une centrale de traitement d'air. La circulation de l'air dans le puits climatique est ainsi assurée par le ventilateur de l'installation de ventilation ou de traitement d'air.

En option, un bipasse peut être installé afin de court-circuiter le puits climatique et permettre le passage d'air à partir d'une prise d'air extérieure directe.

Commentaire

Les performances escomptées sont différentes selon la zone géographique. Mais les besoins énergétiques sont également différents selon le climat.

Pour une configuration de puits climatique donnée et une nature de sol identique, le gain énergétique apporté par un puits climatique mis en œuvre dans un climat continental peut être de 40% supérieur au gain obtenu dans un climat océanique.



▲ Figure 1 : Représentation schématique d'un puits climatique et de son raccordement à des éléments connexes

Différentes configurations de puits climatiques

4



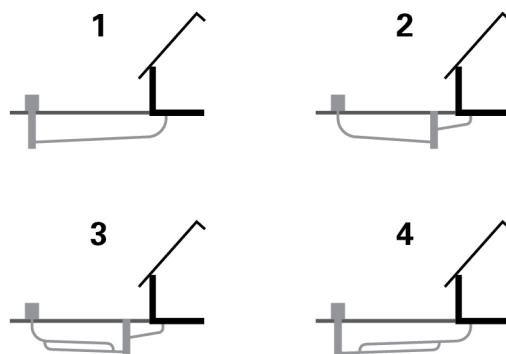
En fonction des caractéristiques du terrain et du bâtiment, le puits climatique peut présenter différentes configurations (Figure 2) et (Figure 3). Ces caractéristiques vont influencer :

- le choix et la localisation du dispositif d'évacuation des condensats ;
- la localisation de la traversée de paroi ;
- la liaison avec le bâtiment ;
- la configuration du réseau (monotube ou multitubes).

Commentaire

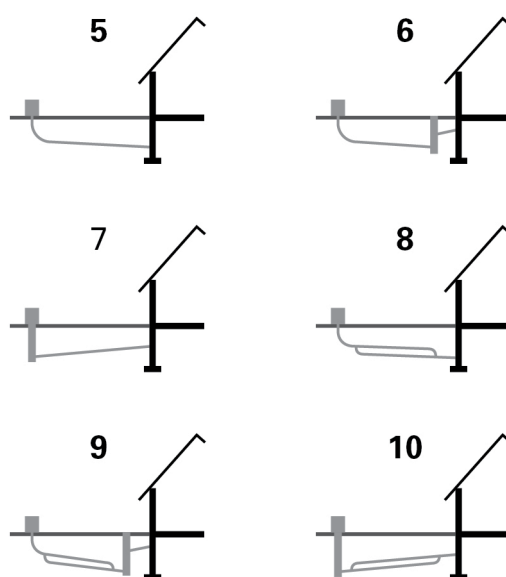
Pour limiter les pertes de charge et favoriser les opérations de diagnostic et de maintenance, il convient de privilégier le tracé le plus court et le plus rectiligne possible.

N° configuration	1	2	3	4
Absence de sous-sol – sortie de puits sous le bâtiment				
Espace disponible suffisant	x	x		
Espace disponible réduit			x	x
Terrain descendant vers la maison		x	x	
Terrain ascendant vers la maison	x			x



▲ Figure 2 : Différentes variantes d'un puits climatique selon la surface disponible et la pente naturelle du terrain (absence de sous-sol)

N° configuration	5	6	7	8	9	10
Présence d'un sous-sol						
Espace disponible suffisant	x	x	x			
Espace disponible réduit				x	x	x
Terrain descendant vers la maison	x	x		x	x	
Terrain ascendant vers la maison			x			x



▲ Figure 3 : Différentes variantes d'un puits climatique selon la surface disponible et la pente naturelle du terrain (présence d'un sous-sol)

Organisation du chantier

5



La coordination des entreprises est à la charge du maître d'œuvre ou de ses représentants désignés.

Une installation de puits climatique nécessite de réaliser des travaux de terrassement dont l'importance est fonction du projet. Dans ce contexte, il est primordial de prévenir tout risque d'ensevelissement ou d'éboulement.

Le plus en amont de la phase de conception, il appartient au maître d'ouvrage, en collaboration éventuelle avec le maître d'œuvre, de prendre en compte les principes généraux de prévention et notamment de missionner, dès le début, un géotechnicien. Toutes les prescriptions du géotechnicien doivent être respectées et appliquées par les entreprises en charge de la mise en œuvre du puits climatique.

D'une façon plus générale, toutes les dispositions relatives à la protection et à la sécurité des intervenants doivent être prises conformément notamment :

- aux articles R. 4534-22 à R. 4534-39 de la Section 4 « Travaux de terrassement à ciel ouvert », du Chapitre IV, du Titre III, du Livre V, de la Quatrième partie du Code du travail ;
- aux articles L. 4121-1 à L. 4121-5 du Chapitre I « Obligations de l'employeur », du Titre II, du Livre I^{er}, de la Quatrième partie du Code du travail ;
- aux articles L. 4122-1 et L. 4122-2 du Chapitre II « Obligations des travailleurs », du Titre II, du Livre I^{er}, de la Quatrième partie du Code du travail.

Le maître d'œuvre prévoit, dès les documents particuliers du marché (tel que le Cahier des Clauses Techniques Particulières), l'ensemble du système « puits climatique » dans un même lot.

Le puits climatique est défini depuis la prise d'air neuf jusqu'à la pénétration dans le bâtiment incluse. Les réseaux de ventilation et autres accessoires situés à l'intérieur du bâtiment et raccordés au puits climatique ne font pas partie du lot « puits climatique ».

La mise en œuvre d'un puits climatique implique différents intervenants, en coordination avec le lot génie climatique, que sont :

- le lot « Voirie et Réseaux Divers » (« VRD ») ou « Terrassement » ;
- le lot « Génie civil » ;
- le lot « Electricité » ;
- le lot « Plomberie ».

Selon le type de marché, le contrôle de l'installation du puits climatique incombe au lot « Voirie et Réseaux Divers » ou « Terrassement »

Compte tenu des contraintes spécifiques, la mise en place du réseau du puits climatique peut revenir au lot « VRD ». Selon les configurations du marché, cette opération peut être sous la responsabilité du lot « Génie climatique » et sous-traitée au lot « VRD ». Cette configuration est illustrée en (Figure 4) avec la description des intervenants et des rôles attribués à chacun.

L'installation de ventilation est généralement mise en œuvre par le lot « Génie climatique ». Le raccordement du puits climatique à l'installation de ventilation ou de traitement d'air et le contrôle complet, avant réception du chantier, de toute l'installation aéraulique (puits climatique compris) incombe au lot « Génie climatique ».

Intervenant / lot	Rôle
Maître d'ouvrage	– Déclaration de travaux
Maître d'œuvre ou bureau d'études techniques	– Coordination des intervenants – Contrôle des travaux et récolement des autocontrôles des entreprises
VRD (Voirie et Réseaux Divers) ou Terrassement	– Terrassement suivant les plans définis par le lot Génie Civil précisant les altimétries – Réception du support avec le lot Génie Civil – Mise en œuvre de regards ou boîtes d'inspection préfabriquées – Procès verbal de constat d'étanchéité des réseaux avant remblaiement signé par les lots Génie Civil et VRD (cette opération est optionnelle, elle ne présente aucune valeur pour l'acceptation finale de l'installation) – Mise en pression des réseaux après remblaiement – Procès verbal de constat d'étanchéité des réseaux signé par les lots Génie Civil et VRD – Contrôle de l'installation
Génie civil	– Traversée de mur enterré (traitement d'étanchéité à l'eau et à l'air) – Regards de visite, d'entretien et de récupération des condensats
Plomberie	– Fourniture et pose du dispositif d'évacuation des condensats (avec relevage éventuel)

Intervenant / lot	Rôle
Génie climatique	– Réception du support avec le lot VRD – Mise en place du réseau du puits climatique (action généralement sous-traitée au lot VRD) – Mise en pression des réseaux avant remblaiement et procès verbal de constat d'étanchéité signé par les lots Génie Civil et VRD (cette opération est optionnelle, elle ne présente aucune valeur pour l'acceptation finale de l'installation) – Procès verbal de constat d'étanchéité des réseaux après remblaiement signé par les deux parties Génie civil et VRD – Mise en place du réseau à l'intérieur du bâtiment hors puits climatique – Fourniture et mise en place des accessoires et registres assurant le lien entre le puits climatique et la centrale de ventilation – Contrôle de l'installation de ventilation – Mise en service de l'installation globale et paramétrage de la régulation du bypass
Electricité	– Mise à disposition des attentes électriques protégées en tête

▲ Figure 4 : Exemple de répartition des rôles des intervenants dans la réalisation d'un puits climatique, en tertiaire

Déclaration de travaux et déclaration d'intention de commencement de travaux

6



Une déclaration de travaux (DT) et une déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT) sont obligatoires avant l'exécution des travaux pour éviter tout risque de détérioration des réseaux existants. Ces déclarations sont précédées obligatoirement d'une consultation auprès du service « réseaux et canalisations » (réseaux et canalisations.gouv.fr) ou auprès de la mairie pour connaître les réseaux situés à proximité.

Commentaire

La déclaration de travaux (DT) est établie par le maître d'ouvrage qui envisage de réaliser les travaux de puits climatique à proximité de réseaux existants. Elle est envoyée aux exploitants de réseaux déjà en place et a pour objet de vérifier la compatibilité du projet avec les réseaux existants.

Le formulaire de déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT) est établi par l'exécutant des travaux. Cette déclaration a pour objet d'indiquer aux exploitants des réseaux existants la localisation précise des travaux projetés et les techniques de travaux utilisées.

Etude préalable à la mise en œuvre d'un puits climatique

7



Des considérations sur la nature du sol, l'environnement extérieur et le bâtiment sont à examiner lors de la phase de conception de l'ouvrage. Ces considérations s'appliquent à tous bâtiments.

7.1. • Considérations sur la nature du sol

La connaissance du sol est un élément majeur à considérer afin :

- de valider le dimensionnement mécanique des tubes ;
- d'optimiser les performances du puits climatique lors de la phase de conception.

7.1.1. • Considérations géotechniques

Une étude de sol doit être réalisée avant toute construction. Il est essentiel de se procurer cette étude pour connaître précisément :

- la nature des différents terrains rencontrés et leurs caractéristiques ;
- l'humidité du sol ;
- la présence d'une nappe phréatique ;
- la présence de radon ;
- la classification des matériaux enlevés en vue de la réalisation des remblais ;
- le niveau d'eau relevé dans les sondages.

Ces éléments vont permettre de définir les spécifications pour le terrassement et les conditions de réemploi des matériaux. La terre végétale peut contenir des débris végétaux peu souhaitables pour la réalisation du lit de pose. Il est préférable de réserver la terre végétale pour le remblai final en surface (rétablissement d'un espace vert).

Commentaire

Une vigilance supplémentaire est nécessaire en terrain aquifère. Dans ces conditions, l'utilisation de sable est à éviter ou nécessite la mise en place d'un filtre géotextile pour envelopper le lit de pose. L'étude de sol peut comporter des indications utiles sur le sujet.

La compatibilité du sol avec les éléments constitutifs du puits climatique est notamment appréhendée à partir des informations relatives au pH du sol, à sa constitution, à la présence de déchets, d'effluents industriels. Cette limite d'emploi est à demander et à valider auprès du fabricant du puits climatique.

Commentaire

Certains sols ne sont pas utilisables pour la réalisation de l'enrobage. Il s'agit des sols de type G5 (argiles et argiles marneuses, limons très plastiques) et des sols de type G4 (C1B6 et C2B6) conformément aux prescriptions du Fascicule 70.

7.1.2. • Caractéristiques thermiques du sol

Les grandeurs déterminant les caractéristiques thermiques d'un sol sont :

- la conductivité thermique λ , en $W/(m.K)$
C'est le flux de chaleur transmis au travers d'un corps soumis à un gradient de température de 1 K/m. La conductivité thermique est, de préférence, au moins de $1,3 W/(m.K)$.
- la capacité thermique massique volumique C_v , en $J/(m^3.K)$
C'est la quantité de chaleur nécessaire à l'élévation de température de 1 K d'un volume de 1 m^3 .
- la diffusivité thermique α , en m^2/s
Elle caractérise la vitesse de pénétration et l'atténuation d'une onde thermique dans un milieu, selon les influences des cycles quotidiens et mensuels. Plus la diffusivité du sol est élevée, plus faible est l'amortissement de température.

Ces grandeurs sont détaillées en [ANNEXE 1]. Un tableau présente les valeurs courantes de paramètres caractéristiques du sol (conductivité thermique, capacité thermique volumique et masse volumique).

Commentaire

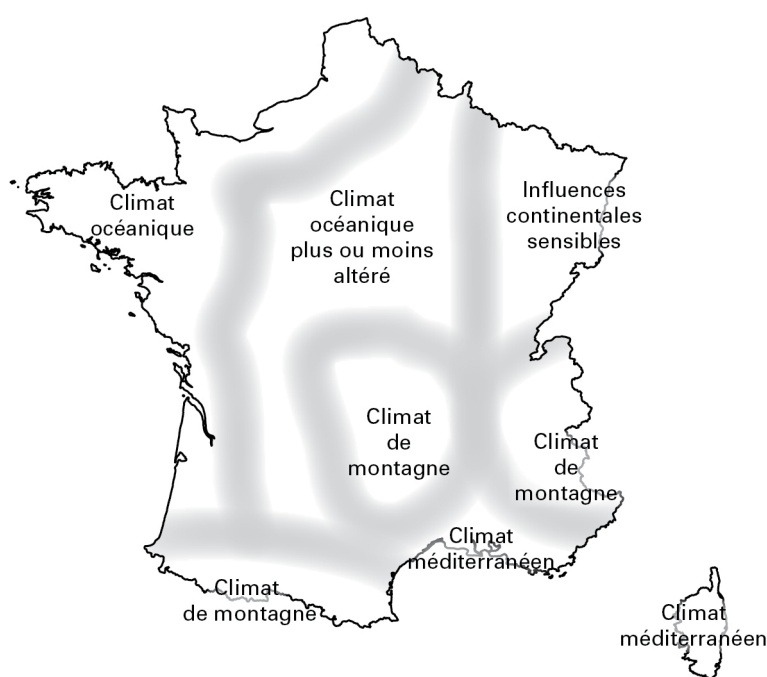
L'utilisation de sable, recommandée dans le Fascicule 70 et la norme NF EN 1610, ne porte pas préjudice, de façon significative, à la qualité de l'échange thermique entre le conduit et le sol. Cette couche de sable est essentielle pour assurer la stabilité du conduit dans le sol et la réalisation d'une pente régulière entre les points haut et bas de l'installation. Les caractéristiques thermiques du sol à considérer sont celles du sol en place.

Commentaire

Pour une surface de terrain donnée, un sol est rarement homogène et peut être constitué de divers matériaux de caractéristiques différentes. Les ordres de grandeurs mentionnés dans ce guide ne peuvent en aucun cas se substituer à la réalité d'un projet.

7.2. • Considérations sur l'environnement extérieur

Un puits climatique peut être installé dans toutes les zones climatiques. Cinq climats différents sont à considérer en France métropolitaine.



▲ Figure 5 : Représentation des différents climats en France métropolitaine

Les différentes zones climatiques se caractérisent comme suit (Figure 6).

Climat	Caractéristiques principales
Climat océanique	Hiver doux (moyenne de l'ordre de 6°C) et humide Été sec et peu chaud (moyenne de l'ordre de 20°C)
Influences continentales sensibles	Climat « brutal » avec une variation importante des températures selon les saisons Hiver froid (températures de l'ordre de 1°C) Été chaud (températures pouvant atteindre 30°C)
Climat océanique plus ou moins altéré	Climat océanique dégradé pouvant subir des influences continentales
Climat de montagne	Climat avec d'importantes variations de températures sur des périodes courtes de quelques jours
Climat méditerranéen	Hiver doux (moyenne de l'ordre de 10°C) Été chaud (températures pouvant atteindre 35°C) Précipitations importantes au printemps et en automne

▲ Figure 6 : Caractéristiques principales des différents climats rencontrés en France métropolitaine

La mise en œuvre du puits climatique permet de garantir une relative constance de la température de l'air en sortie de celui-ci et ce, indépendamment des variations de la température extérieure. Idéalement, la température de sortie du puits se rapproche de la température du sol.

Il est convenu que, à quelques mètres de profondeur, la température moyenne du sol est équivalente à la température extérieure moyenne. Ainsi, l'efficacité du puits climatique est d'autant plus importante que la différence de température entre la sortie du puits et l'extérieur est importante, c'est-à-dire que les conditions suivantes se vérifient :

- des températures extrêmes, chaudes en été et/ou froides en hiver ;
- des températures extérieures très différentes de la température intérieure de confort souhaitée.

7.3. • Considérations sur le bâtiment

L'objectif du puits climatique est d'assurer une fonction de préchauffage et/ou de rafraîchissement du bâtiment.

Son efficacité est d'autant meilleure que les critères généraux suivants peuvent être respectés :

- un bâtiment étanche ;
- un fonctionnement continu de l'installation aéraulique raccordée au puits climatique.

Pour un fonctionnement en été, l'impact du puits climatique sur le confort est d'autant plus important que les critères suivants sont satisfaits :

- une inertie moyenne ou forte ;
- des charges thermiques faibles à modérées : apports internes et apports externes.

Le puits climatique est à raccorder au système aéraulique du bâtiment dont le débit d'air véhiculé (entre autres dans le puits climatique) correspond au renouvellement d'air hygiénique ou/et à la production de chaud ou froid conformément aux besoins énergétiques préalablement définis.

7.4. • Considérations sur le terrain

La localisation des réseaux enterrés nécessite d'établir au préalable un plan du site. Cette étude de site doit inclure a minima les éléments suivants :

- la surface de terrain disponible ;
- les éléments de structure existants, la localisation des fondations des bâtiments à construire ou existants ;
- le type de bâtiment à construire ou existant (habitat, bâtiment tertiaire, immeuble de grande hauteur...) ;
- la présence d'arbres ou obstacles divers ;
- les réseaux souterrains existants ou à construire ;
- la présence de nappe phréatique ;
- le caractère éventuellement inondable du terrain ;
- la présence reconnue de radon.

La surface de terrain à considérer pour la mise en place du réseau de tubes est fonction du débit d'air véhiculé dans le réseau. Plus le débit d'air à véhiculer est important et plus la taille de l'installation est importante.



Pour favoriser la régénération du sol, une surface drainante (surface gazonnée par exemple) est à privilégier au dessus du puits climatique.

Puits climatique et sécurité incendie

8



La réglementation incendie dédiée aux bâtiments collectifs d'habitation et aux bâtiments tertiaires (et notamment les Etablissements Recevant du Public) imposent des conduits de classe M0 pour les réseaux intérieurs au bâtiment. Aucune prescription n'existe pour l'habitat individuel.

A ce jour, l'exigence au feu concernant une installation de puits climatique n'est pas clairement définie.

Critères de choix des produits pour la mise en œuvre d'un puits climatique

9



Les tubes et accessoires destinés à la réalisation d'un puits climatique ne font pas l'objet de normes spécifiques.

Différents produits et matériaux destinés à un autre domaine d'emploi peuvent permettre la réalisation de ces ouvrages à condition de pouvoir satisfaire les exigences propres aux fonctions du puits climatique.

Deux cas sont à considérer selon que le projet soit suivi ou non par un bureau d'études techniques.

9.1. • Bâtiments tertiaires et autres bâtiments avec présence d'un bureau d'études techniques

Les produits utilisés doivent satisfaire toutes les exigences des critères suivants.

9.1.1. • Critères sanitaires

L'ensemble des composants constitutifs d'un puits climatique à savoir, les tubes, les regards, les boîtes d'inspection, les raccords et les joints ne doivent pas relarguer de substances toxiques ou susceptibles de générer des nuisances olfactives à l'intérieur du bâtiment. Ces composants ne doivent pas dégrader la qualité de l'air capté puis véhiculé dans le puits.

Par ailleurs, les tubes doivent présenter une surface intérieure lisse afin de permettre un écoulement sans entrave des condensats et éviter l'accumulation de matières organiques ou minérales à l'intérieur du réseau.



9.1.2. • Critères d'étanchéité

Les tubes, regards, boîtes d'inspection, raccords et dispositifs de couronnement doivent être étanches à l'air, à l'eau et aux racines sur le long terme, dans les conditions normales d'exploitation figurant dans ce document. Ainsi, le transport du même air depuis la prise d'air neuf jusqu'à la sortie du puits climatique doit pouvoir être garanti sans problème d'infiltration ou d'exfiltration entre ces deux extrémités. A ce jour, le test d'étanchéité du réseau peut être réalisé conformément à la méthode d'essai à l'air décrite dans la norme NF EN 1610.

9.1.3. • Critères mécaniques

Les tubes, regards, boîtes d'inspection, raccords doivent résister à long terme à l'ensemble des charges soumises à l'ouvrage, sans fissuration ou ovalisation excessive. Les caractéristiques mécaniques doivent être connues du concepteur afin de permettre le dimensionnement mécanique de l'ouvrage.

Les tubes doivent présenter une rectitude permettant la réalisation d'un réseau sans contre-pente et sans rétention d'eau.

Commentaire

Le dimensionnement mécanique des tubes, basé sur les prescriptions du Fascicule 70, fait l'objet de logiciels disponibles auprès des instances professionnelles ou des fabricants.

9.1.4. • Critères aérauliques

Les caractéristiques aérauliques des tubes et notamment la rugosité intérieure doivent être connues afin de déterminer les pertes de charge de l'ouvrage.

9.1.5. • Critères thermiques

La connaissance de la résistance thermique de la paroi du tube doit permettre de déterminer les flux thermiques échangés. Il convient de disposer des éléments suivants pour évaluer le dimensionnement thermique du tube :

- la conductivité thermique du tube ;
- l'épaisseur du tube ;
- le diamètre intérieur.

Commentaire

Un tube annelé en paroi extérieure et lisse en paroi intérieure se caractérise par une épaisseur non homogène et une constitution non homogène liée à un « vide d'air » au niveau des annelures. Les caractéristiques thermiques du tube à considérer pour le calcul doivent être fournies par le fabricant.

9.2. • Bâtiments en l'absence d'un bureau d'études techniques

Les tubes et accessoires utilisés pour la réalisation du puits climatique doivent permettre de satisfaire les conditions énoncées au chapitre 9.1 (cf. 9.1) concernant :

- Les critères sanitaires ;
- Les critères d'étanchéité ;
- Les critères aérauliques ;
- Les critères thermiques.

Les critères mécaniques à considérer sont définis au chapitre 20 (cf. 20), pour une maison individuelle.

Caractéristiques des paramètres influençant la performance d'un puits climatique

10



La performance énergétique d'un puits climatique est liée aux paramètres suivants :

- profondeur d'enfouissement des tubes ;
- diamètre des tubes et vitesse de l'air ;
- longueur des tubes.

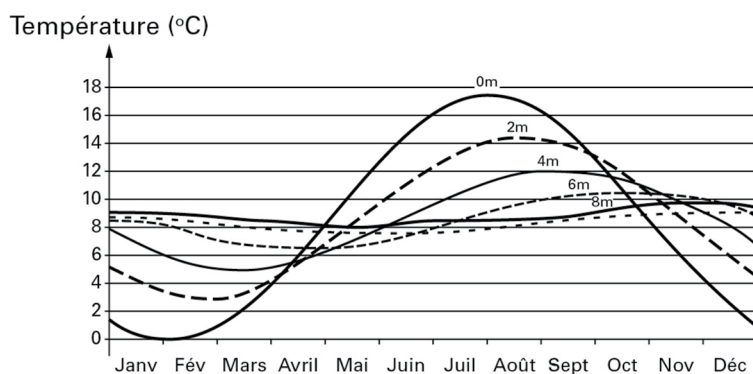
10.1. • Profondeur d'enfouissement des tubes

La profondeur d'enfouissement des tubes correspond à la hauteur de recouvrement de ces derniers.

Commentaire

La hauteur de recouvrement correspond à la distance verticale entre la génératrice supérieure du tube et la surface du sol.

La température du sol devient de plus en plus constante sur une période annuelle au fur et à mesure que la profondeur est augmentée.



▲ Figure 7 : Evolution annuelle de la température du sol à différentes profondeurs

Pour s'affranchir des variations climatiques extérieures, il est important d'augmenter suffisamment la profondeur d'enfouissement afin de limiter tout phénomène d'amplitude (Figure 7).

Quelle que soit la zone géographique, la puissance thermique récupérée augmente avec la profondeur d'enfouissement des tubes.

En complément de la puissance thermique à récupérer, la profondeur d'enfouissement des tubes est également motivée par les contraintes de terrassement et donc de coût engendré.

Pour satisfaire ce compromis, les profondeurs d'enfouissement généralement adoptées sont comprises entre 1,50 et 3,50 m.

A ces profondeurs, il peut être observé un déphasage de l'ordre de deux mois entre la température extérieure et la température du sol :

- la température maximale du sol est observée en septembre-octobre soit deux mois plus tard que la température maximale de l'air extérieur (juillet-août) ;
- la température minimale du sol est observée en mars-avril soit environ deux mois plus tard que la température minimale de l'air extérieur (janvier).

Commentaire

Le déphasage peut être plus ou moins variable selon les profondeurs.

10.2. • Diamètre des tubes et vitesse d'air

En complément à la profondeur d'enfouissement des tubes, les paramètres « diamètre du tube » et « vitesse de passage de l'air dans le tube » sont des paramètres essentiels à maîtriser ; d'autant qu'ils sont étroitement liés entre eux.

Pour un même débit d'air insufflé, une diminution du diamètre du tube entraîne une augmentation de la vitesse d'air et a fortiori un accroissement du phénomène de turbulence de l'air. Cet écoulement turbulent est primordial car il améliore les échanges convectifs entre

l'air et la paroi du tube. Toutefois, une augmentation trop importante de la vitesse d'air engendre :

- un accroissement des pertes de charge ;
- une diminution du temps de contact de l'air dans le puits impliquant une température de sortie du puits plus éloignée de la température du sol, donc une perte de performance du puits.

Face à l'interdépendance de ces paramètres, il est classiquement retenu une vitesse de l'air dans le tube entre 1,5 et 4 m/s.

Commentaire

Le diamètre des tubes est également à considérer au regard des opérations de maintenance. Il doit être compatible avec les techniques de nettoyage disponibles.

10.3. • Longueur des tubes

La longueur des tubes est fonction de la surface de terrain disponible. Cette grandeur est déterminée lors du dimensionnement du système après l'évaluation des échanges thermiques entre le sol et l'air circulant dans le réseau.

Commentaire

Lorsque la longueur totale du conduit est supérieure au terrain disponible, d'autres configurations sont à envisager comme une configuration en « boucle de Tichelmann ».

En présence d'un réseau constitué de plusieurs tubes, il est nécessaire de prendre en considération un autre paramètre : la distance entre les tubes. Afin que chaque tube assure un bon échange thermique avec le sol sur toute sa périphérie, il est conseillé d'avoir un espacement entre les tubes supérieur ou égal à trois fois leur diamètre.

Dimensionnement du puits climatique

11



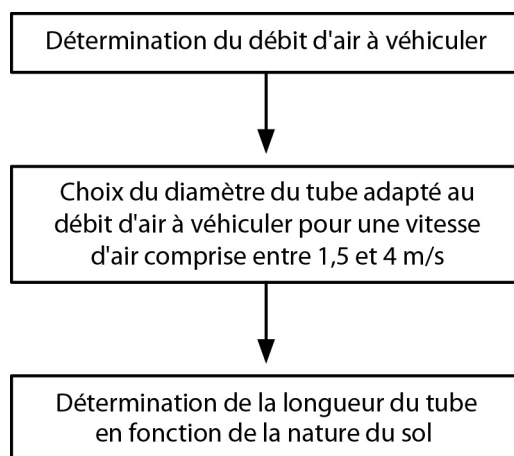
Le dimensionnement du puits climatique consiste à déterminer, pour le débit d'air circulant dans le réseau, la longueur totale de tubes de sorte que la température de l'air en sortie de puits soit la plus proche possible de la température du sol.

Le calcul de la longueur optimale de tube pour satisfaire cette condition est détaillé en [ANNEXE 2].

La détermination de la longueur de tube repose sur 3 étapes (Figure 8) :

- la détermination du débit d'air à véhiculer ;
- le choix du diamètre et du type de tube permettant de satisfaire une vitesse d'air comprise entre 1,5 et 4 m/s ;
- la détermination de la longueur du tube en fonction de la nature du sol, des caractéristiques du tube et de la vitesse retenus.

Le dimensionnement est effectué pour le débit maximal devant transiter dans le tube (configuration monotube du puits) ou dans chaque tube du réseau.



▲ Figure 8 : Différentes étapes de détermination de la longueur de tube du puits climatique

La procédure de dimensionnement du puits est fournie en [ANNEXE 3].

Une méthode graphique par abaques est proposée :

- la (Figure 9) détermine le diamètre et le type de tube pour véhiculer le débit d'air à une vitesse comprise entre 1,5 et 4 m/s ;
- la (Figure 10) détermine la longueur de tube pour un sol donné (ici de l'argile humide) à partir du tube choisi et de la vitesse.

Les abaques sont établis pour des tubes :

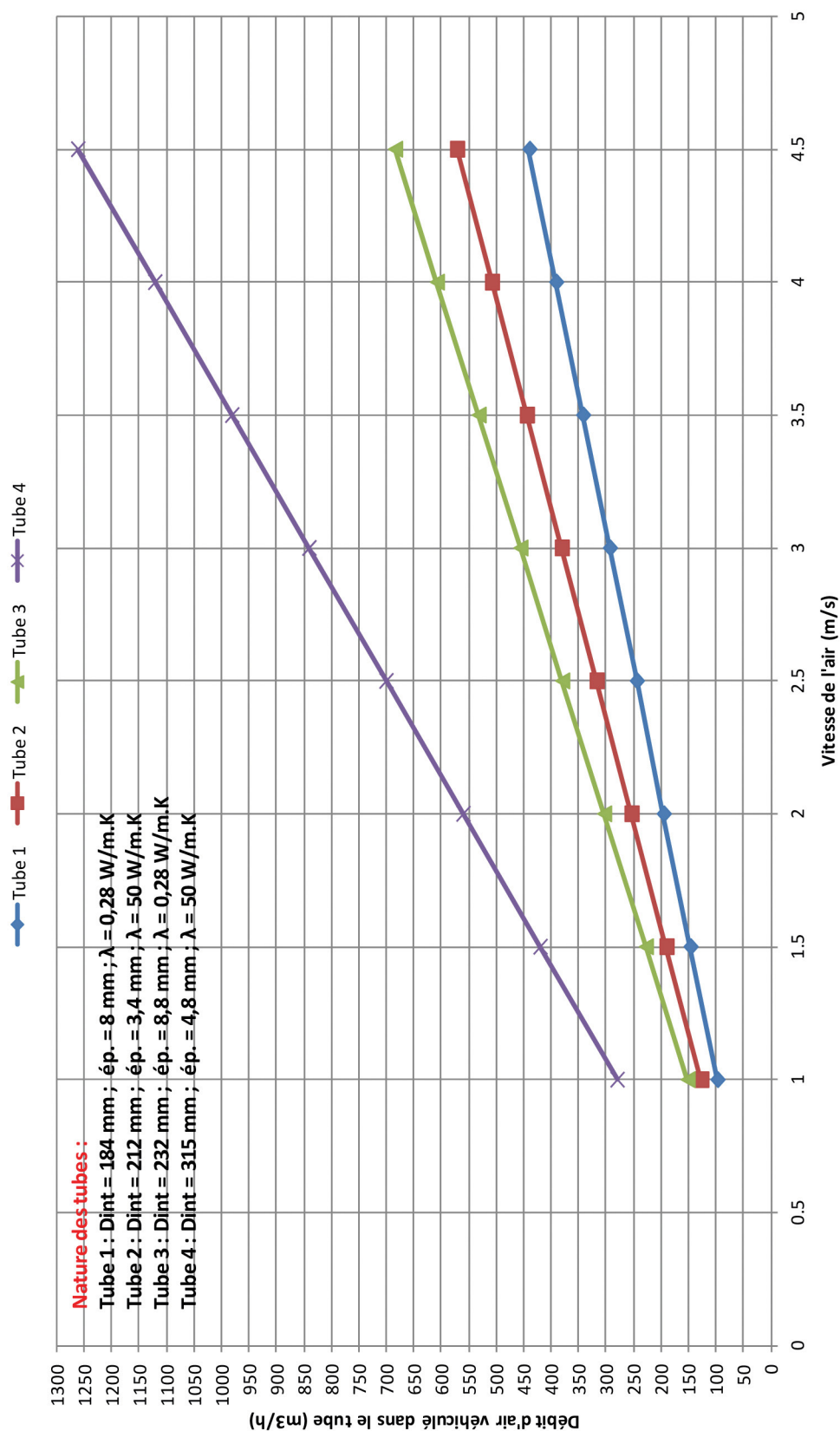
- synthétiques, de conductivité thermique $\lambda = 0,28 \text{ W/m.K}$;
- métalliques, de conductivité thermique $\lambda = 50 \text{ W/m.K}$.

de diamètres intérieurs couramment rencontrés pour les applications actuelles en habitat individuel et tertiaire.

L'ensemble des abaques regroupant différentes variétés de sol se trouve en [ANNEXE 4]. Un exemple d'application de ces abaques est fourni en [ANNEXE 5].

Commentaire

En présence de tubes ou de sols dont les caractéristiques sont différentes de celles retenues pour la méthode graphique, le dimensionnement du puits est à effectuer conformément à la procédure définie en [ANNEXE 3].

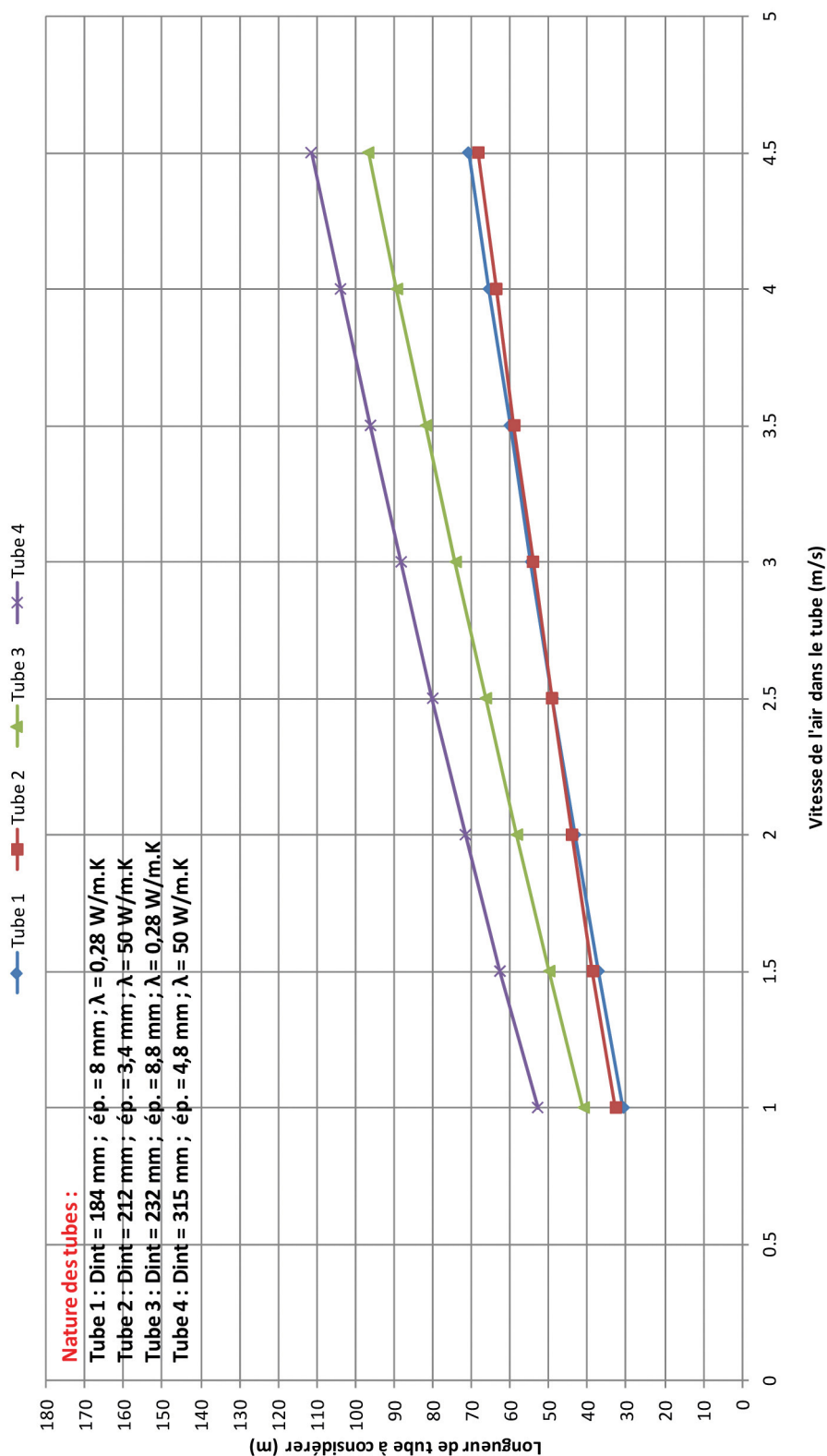


▲ Figure 9 : Détermination du diamètre et du type de tube pour véhiculer un débit d'air donné à une vitesse comprise entre 1,5 et 4 m/s

Longueur totale du tube à considérer en fonction des caractéristiques du tube et de la vitesse de l'air

(hypothèse : longueur du tube = $2 L_0$)

Nature du sol : argile humide ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 1,45 \text{ W/m.K}$; $C_p = 1340 \text{ J/kg.K}$)



▲ Figure 10 : Détermination de la longueur de tube pour un sol « argile humide » à partir du débit d'air véhiculé et du diamètre du tube

12

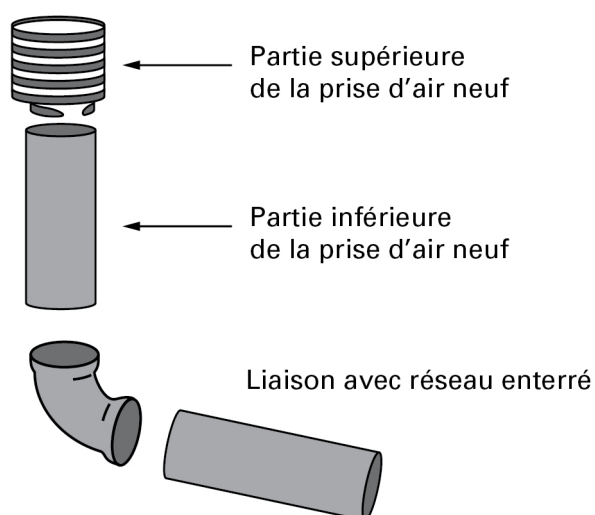
Prise d'air neuf



La prise d'air neuf permet l'apport d'air neuf extérieur dans le puits climatique.

Cet élément se compose de deux parties distinctes :

- une partie supérieure comprenant le filtre, le chapeau pare-pluie et la grille de protection ;
- une partie inférieure assurant le lien avec le conduit enterré du puits climatique.



▲ Figure 11 : Différents éléments d'une prise d'air neuf

Commentaire

La prise air neuf est fabriquée en matériaux non corrodables et résistant aux conditions climatiques.

12.1. • Localisation de la prise d'air neuf

La partie supérieure de la prise d'air est située à une hauteur minimale supérieure à 1 mètre au-dessus du sol fini afin de limiter son encrassement et la contamination du puits.

L'emplacement de la prise d'air neuf est choisi afin de pouvoir satisfaire au maximum les conditions suivantes :

- être éloigné de toute végétation à l'origine de pollen allergisant ;
- être protégé des vents dominants ;
- être protégé de toutes sources de pollution (pollution automobile, pollution industrielle, pollution chimique, pollution végétale) et de risque d'incendie.



Une prise d'air neuf située au ras du sol peut être à l'origine d'une contamination accrue en espèce fongique d'origine tellurique.

La mise en place de la prise d'air neuf dans un lieu accessible au public nécessite des dispositions complémentaires pour prévenir tout acte de malveillance. Une clôture peut par exemple être mise en place autour de la prise d'air neuf. Ce dispositif doit néanmoins permettre l'accès à la prise d'air neuf pour les opérations d'entretien et de maintenance.

12.2. • Limitation de la contamination du réseau et maintenance

12.2.1. • Grille de protection

Comme toute prise d'air neuf, celle-ci est à protéger avec un grillage à mailles de 10 mm au plus ou tout autre dispositif équivalent permettant de s'opposer à l'introduction de corps étrangers (papiers, feuilles, animaux...).

12.2.2. • Niveau de filtration

Le Code du Travail et le Règlement Sanitaire Départemental Type définissent un niveau de filtration G4 sur la prise d'air neuf. Ce niveau de filtration retient les grosses particules mais est inefficace vis-à-vis d'une contamination fongique.

La norme NF EN 13779 recommande différents niveaux de filtration selon la pollution de l'air extérieur et le niveau de qualité d'air intérieur désiré (Figure 12). Il est conseillé de se référer aux préconisations de filtration définies dans cette norme afin de protéger au mieux l'installation aéraulique et d'améliorer la qualité de l'air insufflé.

Notons que les niveaux de qualité d'air (d'excellente à basse) de la (Figure 12) ne sont pas définis dans la norme NF EN 13779. En effet, cette classification dépend de la nature des sources de polluants prises en compte. Des valeurs par défaut pour exprimer la qualité d'air intérieur en fonction de la concentration en CO₂ sont données dans la norme NF EN 15251.



La norme NF EN 13779 n'a pas été révisée pour intégrer la nouvelle classe de filtration « M » définie dans la norme NF EN 779.

Qualité de l'air neuf	Qualité de l'air intérieur			
	Excellente	Moyenne	Modérée	Basse
Air pur (présence temporaire de poussière comme le pollen)	F9	F8	F7	F6
Air extérieur avec concentration importante de particules	F7+F9	F6+F8	F6+F7	G4+F6
Air extérieur avec concentration importante de polluants gazeux	F7+F9	F8	F7	F6
Air extérieur avec concentration importante de polluants gazeux et de particules	F7+F9	F6+F8	F6+F7	G4+F6
Air extérieur avec concentration très élevée de polluants gazeux et de particules	F6+GF*+F9	F6+GF*+F9	F6+F7	G4+F6

*Filtre à gaz (charbon actif)

▲ Figure 12 : Classes de filtres recommandées pour satisfaire les prescriptions de l'air intérieur en fonction de l'air extérieur (selon NF EN 13779)

Quel que soit le filtre, celui-ci ne représente pas une sécurité totale vis-à-vis de toutes les contaminations. Dans ces conditions, il est important de noter que le changement régulier de filtre est essentiel pour assurer une qualité d'air insufflé satisfaisante.

Commentaire

Un contrôle d'encrassement du filtre est impératif.

Un contrôle visuel ou la mise en place d'un pressostat de contrôle d'encrassement peuvent être des solutions à envisager pour vérifier rapidement le niveau d'encrassement du filtre et sa nécessité de le changer.

12.3. • Dimensionnement de la prise d'air neuf

La prise d'air neuf est choisie en fonction du débit d'air véhiculé dans le puits climatique.

Elle est caractérisée par le niveau de filtration correspondant à la classe du filtre intégré.

Les documentations des fabricants fournissent la courbe caractéristique des pertes de charge de la prise d'air en fonction du débit d'air. Elles sont données pour un filtre propre.

Commentaire

Dans les zones de climat montagnard, la prise d'air neuf est surdimensionnée (environ deux fois) afin d'obtenir une faible vitesse d'entrée de l'air dans le puits et d'éviter la pénétration de la neige.

13

Réseau d'air



Le réseau d'air du puits climatique est défini depuis la prise d'air neuf jusqu'à la pénétration dans le bâtiment.

13.1. • Différents types de tubes

Les conduits aérauliques utilisés pour les réseaux enterrés sont des conduits circulaires. A ce jour, les tubes utilisés pour une application de puits climatique se distinguent principalement par le matériau utilisé : synthétique ou métallique. Ils sont caractérisés par leur conductivité thermique et leurs caractéristiques dimensionnelles : diamètre extérieur et intérieur, épaisseur.

13.2. • Dispositions spécifiques pour favoriser la maintenance et limiter la contamination du réseau

13.2.1. • Stockage des tubes

Le stockage des tubes sur le chantier puis leur mise en œuvre sur le terrain nécessitent des précautions particulières afin de ne pas favoriser le développement microbologique au niveau du puits. Ainsi, avant toute mise en œuvre, les tubes doivent être protégés à leurs extrémités par des bouchons. Lors de leur mise en œuvre sur le terrain, les tubes laissés en attente doivent également être protégés.

13.2.2. • Tracé du réseau

Il est important de privilégier un tracé de réseau le plus linéaire possible afin de favoriser les opérations de maintenance. La multiplication des réseaux secondaires dans le cas d'une configuration en boucle de Tichelmann peut accroître la difficulté de maintenance et d'inspection de l'ensemble des réseaux secondaires.

La facilité de maintenance est également conditionnée par :

- un diamètre intérieur de conduit adapté au passage des outils d'inspection et de maintenance ;
- deux points d'accessibilité situés aux extrémités du puits, côté prise d'air neuf et côté bâtiment.



Conformément à l'article 65 du RSDT, le réseau d'amenée d'air doit être nettoyé avant sa mise en service. Ce point est particulièrement important à considérer car tout gravat laissé pendant le chantier peut favoriser le développement microbien.

13.3. • Vitesses limites dans les tubes

La vitesse dans les tubes est fonction du débit d'air véhiculé et du diamètre intérieur du conduit.

Le débit d'air correspond, a minima, au débit d'air réglementaire du bâtiment considéré, notamment pour la période hivernale. En cas de surventilation, le renouvellement d'air peut être multiplié par deux pendant la période de non chauffage.

Une vitesse d'air trop élevée dans les tubes engendre des pertes de charge importantes qui ont une incidence sur le choix du ventilateur. Par ailleurs, pour une longueur de tube donnée, une augmentation de la vitesse d'air induit une diminution du temps de contact de l'air dans le conduit et une réduction de la performance du puits car la température de sortie de puits est plus éloignée de la température du sol.

Une vitesse de l'air trop faible réduit les échanges convectifs entre l'air et la paroi du tube.

Il est ainsi conseillé une vitesse comprise entre 1,5 et 4 m/s (sauf exceptions ou prescriptions du fabricant) dans les réseaux individuels (cf. 11). Pour les réseaux collecteurs, la vitesse d'air limite est de l'ordre de 7 m/s.

13.4. • Dimensionnement aéraulique des tubes

Le dimensionnement des tubes aérauliques consiste à calculer :

- Le diamètre et la longueur de tubes en fonction du débit d'air à véhiculer (cf. 11) ;
- la perte de charge du réseau de tubes de façon à sélectionner le ventilateur adapté.



C'est le diamètre intérieur du tube qui doit être considéré pour les calculs et non pas le diamètre extérieur.

Deux types de pertes de charge sont à distinguer :

- les pertes de charge linéaires : elles sont provoquées par le frottement de l'air sur les parois du conduit. Elles dépendent du débit d'air véhiculé et de la rugosité du conduit ;
- les pertes de charge singulières : elles sont provoquées par des accidents sur le trajet de l'air. Chaque accident est caractérisé par un coefficient de perte de charge.

Les principales singularités observées sur une installation de puits climatiques sont : la prise d'air neuf intégrant la grille de protection et le filtre, les coudes, les tés et les cônes de réduction.

Compte tenu de la similitude avec un réseau aéraulique de ventilation mécanique contrôlée, le calcul des pertes de charge linéaires et singulières s'effectue conformément au NF DTU 68.3.

Les pertes de charge linéaires des tubes cylindriques, exprimées en Pascal, sont calculées par application de la relation suivante :

$$\Delta P = k \frac{q^{1,9}}{D^5} L$$

Avec :

- k : coefficient fonction de la nature du conduit, égal à $3 \cdot 10^6$ pour les conduits lisses tous matériaux
- q : débit d'air en m^3/h
- D : diamètre intérieur du conduit en mm
- L : longueur du conduit en m

13.5. • Dimensionnement mécanique des tubes

Le dimensionnement mécanique de l'ouvrage est réalisé sur la base d'un remblai indéfini au sens du Fascicule 70.

14

Ventilateur



Le ventilateur est traité dans ce guide comme élément connexe au puits assurant la circulation de l'air dans le puits. Le puits climatique ne peut pas assurer seul la ventilation générale d'un bâtiment. Un système d'extraction d'air est toujours à prévoir en complément d'une installation de puits climatique.

14.1. • Caractéristiques aérauliques

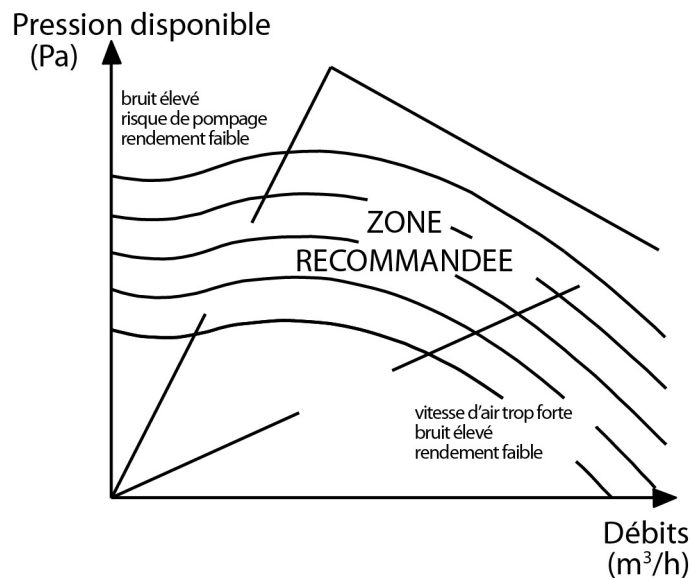
Le ventilateur est caractérisé par différents paramètres :

- le débit d'air véhiculé, exprimé en m^3/h . Il est fonction des contraintes réglementaires du bâtiment desservi par le puits climatique ;
- la pression disponible, exprimée en Pascal. Elle correspond à la différence de pression totale entre l'aspiration et le refoulement du ventilateur. Elle permet de vaincre les pertes de charge du réseau pour assurer les débits nécessaires (cf. 13.4) ;
- la vitesse de rotation, exprimée en nombre de tours effectué par unité de temps (tr/min). La vitesse de rotation du ventilateur a une influence sur la puissance électrique consommée ;
- la puissance aéraulique, exprimée en Watts. Elle correspond à la puissance transmise à l'air par la roue du ventilateur et est égale au produit du débit par la pression disponible.

Pour sélectionner le ventilateur, les fabricants mettent à disposition des courbes caractéristiques de la pression disponible en fonction du débit d'air à véhiculer (Figure 13).

14.2. • Dimensionnement du ventilateur

Le choix du ventilateur doit permettre de fournir la pression disponible nécessaire au réseau pour assurer le débit requis. La plage optimale de sélection du ventilateur est illustrée sur la (Figure 13).



▲ Figure 13 : Exemple de zone de fonctionnement recommandée d'un ventilateur

Une réserve de pression due à l'encrassement du filtre de la prise d'air neuf doit être intégrée dans le dimensionnement du ventilateur relié au puits climatique.

Pour une installation tertiaire, la norme NF EN 13053 fournit des valeurs de pertes de charge d'un filtre chargé de poussière :

- 150 Pa pour la classe de filtre G1 à G4 ;
- 200 Pa pour la classe de filtre F5 à F7 ;
- 300 Pa pour la classe de filtre F8 à F9.

En habitat individuel, le Référentiel de Certification NF 205 indique par exemple une réserve de pression de 5 Pa pour un filtre G4. Pour les autres classes de filtres, se renseigner auprès du fabricant.

15

Evacuation des condensats



Le phénomène de condensation dans les tubes se produit notamment en période estivale lorsque l'air extérieur, chaud et humide, pénètre dans les tubes dont la température est inférieure à celle de l'air extérieur. Ainsi, la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense au contact de la paroi des tubes. Une évacuation de ces condensats est obligatoire afin de limiter tout développement microbien lié à une stagnation durable de l'eau.

Il est important de prévoir et de décrire, dès le cahier des charges, le dispositif d'évacuation des condensats à mettre en place.

Selon la configuration du bâtiment et notamment l'accessibilité ou non à un sous-sol, l'évacuation des condensats est effectuée :

- naturellement, par gravité, par raccordement au réseau d'évacuation du bâtiment ;
- par un dispositif spécifique de récupération des condensats tel qu'une pompe de relevage placée dans un regard de collecte.

Un tel dispositif spécifique de récupération des condensats doit être étanche sur sa totalité. Il est important de s'assurer que les tampons recouvrant les regards sont étanches à l'eau et à l'air. Ces regards doivent être accessibles afin de vérifier régulièrement l'absence d'eau et l'évacuer le cas échéant.

Les spécifications relatives au dispositif à installer, à son étanchéité et à son accessibilité sont à décrire dès le cahier des charges.



Le système de récupération des condensats est placé au point bas de l'installation afin d'assurer leur évacuation correcte.

Traversée de paroi

16



La traversée de paroi permet la continuité entre le réseau extérieur du puits climatique et le réseau d'air intérieur du bâtiment. La réalisation de cette liaison diffère selon la nature du tube, la nature de la paroi ainsi que la présence ou non d'une nappe phréatique. Selon la nature du conduit, la traversée de mur est assurée ou non avec une pièce spécifique.

En l'absence de nappe phréatique, l'étanchéité entre la maçonnerie et la traversée de mur est assurée par un scellement au mortier de ciment à retrait compensé.

En présence de nappe phréatique, des dispositions spécifiques sont à considérer au niveau de la traversée de paroi mais également au niveau du scellement du conduit dans la paroi. Il est impératif d'utiliser des traversées de mur adaptées permettant d'assurer une étanchéité parfaite selon les produits. Il est conseillé d'informer le fabricant du résultat de l'étude géotechnique afin d'opter pour le produit le mieux adapté à la configuration du terrain. Le scellement du conduit au niveau de la paroi est assuré par une entreprise spécialisée avec emploi de matériaux compatibles avec la configuration rencontrée.

17

Bipasse et régulation



Lorsque les températures d'air extérieur sont proches de la température intérieure de confort du bâtiment, il peut être envisagé de bypasser le puits climatique. L'air neuf qui alimente l'installation aéraulique provient alors d'une prise d'air extérieur directe et ne transite plus par le réseau enterré du puits climatique.

La prise d'air extérieur directe doit répondre aux mêmes dispositions que la prise d'air neuf du puits climatique en termes de localisation par rapport aux sources de pollution et de protection à l'aide d'un grillage fin permettant de s'opposer à l'introduction de corps étrangers (papiers, feuilles, animaux...) (cf. 12).



Une installation de puits climatique est un complément à une installation aéraulique pour réduire les consommations énergétiques du bâtiment. En ce sens, il est important de privilégier un fonctionnement de puits climatique le plus simple possible, en continu, sans bipasse.

Si un bipasse est prévu, des précautions de choix, de dimensionnement, de mise en œuvre et de maintenance sont à considérer dès la conception.

En cas de sinistre sur le puits climatique, prévoir un dispositif permettant l'alimentation directe en air neuf de l'installation aéraulique.

Le bipasse du puits climatique nécessite la mise en place d'un registre étanche commandé par un servomoteur selon la température extérieure.

Pour être représentative de la température extérieure et selon la configuration du bâtiment, deux solutions peuvent être envisagées pour obtenir une mesure fiable de la température extérieure :

- placer la sonde de température extérieure en environnement extérieur en accordant une attention particulière à son emplacement. Il faut s'assurer que la sonde n'est pas soumise à des perturbations telles qu'un rayonnement solaire direct ou des sorties d'air du bâtiment (grilles d'extraction, fenêtres, conduit de fumée). Il est privilégié une localisation côté façade nord à une hauteur de 3 mètres environ au-dessus du sol ;
- placer la sonde de température extérieure dans le réseau d'amenée d'air neuf direct, à proximité de l'environnement extérieur. Cette solution est à privilégier en veillant à sa bonne accessibilité pour les opérations futures de maintenance.

Commentaire

La plage de température extérieure correspondant au bipasse du puits climatique est à optimiser en fonction du bâtiment. Par exemple, en présence d'apports internes importants, le seuil de température extérieure maximale de bipasse peut être abaissé.

La conception du registre est effectuée en distinguant les deux configurations :

- le puits climatique n'est pas bippassé : l'air transite uniquement par le puits climatique ;
- le puits climatique est bippassé : un faible débit d'air doit continuer de transiter par le puits climatique.



Le registre assurant le bipasse du puits climatique doit être positionné sur le réseau de la prise d'air extérieur direct (Figure 1) de sorte qu'un débit d'air circule en permanence dans le puits.

La position du registre dans une zone de forte dépression implique sa parfaite étanchéité.

En tertiaire, la ventilation peut être arrêtée en période d'inoccupation des locaux. Dans ce cas, la circulation d'air est interrompue, y compris dans le puits climatique.

La perte de charge étant différente selon la position du registre (c'est-à-dire selon le passage de l'air par le puits ou par la prise d'air directe), le ventilateur doit être choisi pour éviter une surventilation du bâtiment lorsque l'air est prélevé par la prise extérieure directe.

18

Remblaiement



Le remblaiement consiste à recouvrir les tubes puis à reboucher la tranchée.

La performance du puits climatique dépend en partie de la qualité du remblaiement et de son compactage. Une attention particulière doit être apportée à ces prestations.

Le remblaiement est mené conformément au Fascicule 70 avec la mise en place :

- de la zone d'enrobage des tubes avec un remblai latéral et un remblai initial ;
- du remblai proprement dit.

L'enrobage des tubes est effectué préférentiellement avec du sable ou un autre matériau de granulométrie fine afin de bien enrober les tubes et de ne pas les dégrader. Une hauteur minimale de 30 cm est à prévoir pour le remblai initial. Les techniques de compactage du remblai sont à adapter à la hauteur de remblai.



Le compactage du remblai directement au-dessus du tube ne peut être réalisé que lorsque la couche de remblai présente une hauteur minimale de 30 cm.

Le remblai proprement dit est effectué en réutilisant le sol existant, à savoir la terre excavée. Au préalable, tout matériau grossier tel que roche, pierre, béton... est à retirer. Un compactage par couches successives de 50 à 60 cm est réalisé. Les techniques de compactage sont à adapter à la hauteur du remblai. Au-delà de 1 m de hauteur de recouvrement, il peut être procédé à un compactage avec un rouleau compacteur.

Les déblais excédentaires récupérés lors du terrassement et non réutilisés pour le remblaiement sont à évacuer en décharge publique.

Opérations de contrôle à prévoir

19



Trois essais sont à prévoir pour réaliser la procédure de réception de l'installation :

- contrôle du compactage ;
- inspection visuelle ou télévisuelle du réseau ;
- contrôle de l'étanchéité du réseau.

Les épreuves de compactage, d'inspection visuelle ou télévisuelle et d'étanchéité des ouvrages sont effectuées par un ou des organismes de contrôle indépendants (externes à l'entreprise en charge des travaux). L'organisme doit être accrédité.

La réalisation de ces trois essais nécessite de remettre à l'organisme de contrôle les plans de récolement des travaux.

19.1. • Contrôle du compactage

L'objectif de ce contrôle est de vérifier la conformité du compactage par rapport aux objectifs de densification spécifiés dans le CCTP en référence aux études géotechniques préalables. Le contrôle de compactage porte sur la totalité des remblais ainsi que sur la zone d'enrobage jusqu'au niveau inférieur du lit de pose.

Pour assurer sa mission, l'organisme de contrôle doit avoir en sa possession les documents suivants remis par le maître d'ouvrage :

- plans général et détaillés des réseaux ;
- coupe de la tranchée mentionnant la nature et la classification des matériaux de remblai (nature des matériaux, objectifs de densification) ;
- profil des réseaux : nature des matériaux, diamètre, profondeur ;
- études géotechniques préalables.

L'organisme en charge du contrôle soumet au maître d'œuvre le type de matériel utilisé et le protocole retenu. Il précise les points suivants :

- implantation des sondages ;
- nombre de sondages ;
- profondeur des sondages.

Les contrôles de compactage sont effectués conformément au protocole de la norme NF P 94-063 ou NF P 94-105.

A l'issue de ce contrôle, un rapport écrit est à transmettre au maître d'ouvrage indiquant :

- un rappel de la nature de l'essai réalisé ;
- les résultats des essais ;
- la conformité ou non des résultats par rapport aux objectifs fixés dans le CCTP ;
- le schéma du réseau avec la localisation précise des contrôles.

19.2. • Inspection télévisuelle

Si décidée, l'inspection visuelle ou télévisuelle peut être réalisée sur l'ensemble du réseau. Il s'agit de vérifier l'état intérieur des tubes. Ce contrôle vise ainsi à détecter :

- les anomalies d'assemblage entre les tubes ;
- les problèmes d'étanchéité visibles ;
- les déformations de tubes : écrasement, ovalisation, perforation, dégradation des revêtements intérieurs ;
- les obstructions et obstacles présents à l'intérieur des tubes : sédiments, éléments extérieurs ;
- les anomalies de géométrie : présence de contre-pentes.

Commentaire

Les niveaux d'ovalisation acceptables sont ceux définis dans le Fascicule 70. Il convient de vérifier qu'ils sont compatibles avec la fonction aéraulique des conduits.

Les points précédents sont à consigner dans un rapport écrit remis au maître d'ouvrage qui comprend également :

- un rapport photographique ou un film de l'inspection ;
- un plan de localisation des examens visuels ;
- le matériel et le protocole utilisés ;
- les caractéristiques des réseaux inspectés (nature du réseau, diamètre, longueur) ;

A minima, toutes les anomalies détectées sont à photographier et à joindre au rapport.



19.3. • Contrôle de l'étanchéité du réseau

L'objectif du contrôle de l'étanchéité du réseau est de pouvoir garantir le transport du même air entre la prise d'air neuf et la sortie du puits climatique et ainsi empêcher toute infiltration ou exfiltration entre ces deux extrémités.

Ce contrôle est à effectuer après remblaiement total de la tranchée. Le puits climatique étant un réseau véhiculant de l'air, il est suggéré de réaliser un test d'étanchéité à l'air en se référant à la méthode « L » (méthode avec de l'air) de la norme NF EN 1610.

	Test étanchéité suivant la norme NF EN 1610 (Essai d'étanchéité à l'air – méthode « L »)
Nature du test	Test en surpression
Pression d'essai (P_0)	2 pressions d'essai possibles selon la résistance des conduits (à valider avec le fabricant) $P_0 = 1000 \text{ Pa}$ $P_0 = 5000 \text{ Pa}$
Pression initiale (P_{initiale})	$P_{\text{initiale}} > P_0 + 10\% P_0$ $P_0 = 1000 \text{ Pa} \rightarrow P_{\text{initiale}} > 1100 \text{ Pa}$ $P_0 = 5000 \text{ Pa} \rightarrow P_{\text{initiale}} > 5500 \text{ Pa}$
Durée de maintien de la pression initiale	5 minutes
Durée de maintien de la pression d'essai (P_0)	Fonction du diamètre DN du conduit et de la pression d'essai P_0 . DN 200 : 5 minutes (pour $P_0 = 1000 \text{ Pa}$) ; 4 minutes (pour $P_0 = 5000 \text{ Pa}$) DN 300 : 7 minutes (pour $P_0 = 1000 \text{ Pa}$) ; 6 minutes (pour $P_0 = 5000 \text{ Pa}$) DN 400 : 10 minutes (pour $P_0 = 1000 \text{ Pa}$) ; 7 minutes (pour $P_0 = 5000 \text{ Pa}$) DN 600 : 14 minutes (pour $P_0 = 1000 \text{ Pa}$) ; 11 minutes (pour $P_0 = 5000 \text{ Pa}$)
Chute de pression à la fin de l'essai (ΔP)	Fonction de la pression d'essai (P_0) $P_0 = 1000 \text{ Pa} \rightarrow \Delta P = 250 \text{ Pa}$ $P_0 = 5000 \text{ Pa} \rightarrow \Delta P = 1000 \text{ Pa}$
Interprétation des résultats	Installation conforme (étanche) si la chute de pression mesurée à la fin de l'essai est $< \Delta P$

▲ Figure 14 : Récapitulatif de la procédure de contrôle d'étanchéité définie dans la norme NF EN 1610

Un rapport écrit remis au maître d'ouvrage consigne les éléments suivants :

- descriptif du protocole et du matériel utilisé ;
- résultats des essais ;
- interprétation des résultats.

Cas particulier : puits climatique en habitat individuel en l'absence de bureau d'études techniques

20



Les prescriptions données dans le Fascicule 70 sont à considérer pour la mise en œuvre et la réception d'une installation de puits climatique.

En habitat individuel et en l'absence d'un bureau d'études techniques, la maîtrise de l'ensemble des exigences du Fascicule 70 peut être délicate. Dans ces conditions, la mise en œuvre d'un puits climatique peut être envisagée en respectant la totalité des conditions suivantes.

20.1. • Critères de choix des produits

Les critères de choix des produits doivent vérifier les conditions énoncées au chapitre 9.1 (cf. 9.1) concernant :

- les critères sanitaires ;
- les critères d'étanchéité ;
- les critères aérauliques ;
- les critères thermiques.

Concernant le critère mécanique, la rigidité annulaire des tubes et collecteurs doit être supérieure ou égale à 8 kN/m², soit SN8. Les tubes doivent présenter une rectitude pour permettre une réalisation sans contre-pente de l'ouvrage et sans rétention d'eau.

20.2. • Critères de mise en œuvre

Le terrassement étant effectué, la pose des conduits nécessite au préalable de réaliser et stabiliser le lit de pose en fond de fouille. Ces étapes essentielles sont réalisées en respectant les prescriptions du Fascicule 70 : une épaisseur de 10 à 15 cm de sable ou matériau de faible granulométrie et un niveau de compactage requis supérieur

ou égal à 90% de l'Optimum Proctor Normal (niveau q5 « compacté – contrôlé – validé ») tel que défini dans le Fascicule 70.

Les autres contraintes de mise en œuvre du puits climatique à respecter sont :

- l'installation du puits exclusivement sous une surface drainante (surface gazonnée totalement dégagée par exemple) ;
- l'absence de nappe phréatique ;
- la hauteur de recouvrement des tubes comprise entre 1 et 2,5 m ;
- l'utilisation d'éléments préfabriqués destinés à un usage de puits climatique et issus du même fabricant.



La profondeur d'enfouissement doit permettre de satisfaire la mise en œuvre du réseau de tubes. La tranchée doit être suffisamment profonde pour permettre la mise en place successive :

- de 10 à 15 cm de sable ou autre matériau utilisé pour le lit de pose ;
- du réseau de tubes sur le lit de pose ;
- de 30 cm minimal de remblai initial situé directement au-dessus des tubes ;
- de 50 cm minimal de remblai à proprement dit.

Commentaire

Certains sols ne sont pas utilisables pour la réalisation de l'enrobage. Il s'agit des sols de type G5 (argiles et argiles marneuses, limons très plastiques) et des sols de type G4 (C1B6 et C2B6) conformément aux prescriptions du Fascicule 70.

20.3. • Critères de contrôle

La phase de réception de l'installation doit comporter les tests suivants :

- test d'étanchéité à une pression d'essai de 1000 Pa conformément à la norme NF EN 1610 ;
- mise en œuvre de l'enrobage « compacté, contrôlé non validé » conformément au Fascicule 70. Cela signifie un contrôle des moyens de compactage mis en œuvre mais pas de validation de l'objectif de densification. Dans ce cas, l'entreprise soumet pour avis au maître d'œuvre le mode d'exécution et de justification des dispositions prévues pour le compactage.

Annexes



[ANNEXE 1] CARACTERISTIQUES THERMIQUES DU SOL

[ANNEXE 2] : DETERMINATION DE LA LONGUEUR TOTALE DU TUBE

[ANNEXE 3] : DETERMINATION DE LA PROCEDURE DE DIMENSIONNEMENT DU PUIT

[ANNEXE 4] : ABAQUES DE DIMENSIONNEMENT

[ANNEXE 5] : EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT PAR ABAQUES



ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES THERMIQUES DU SOL

Les trois grandeurs déterminant les caractéristiques thermiques d'un sol sont les suivantes :

- la conductivité thermique λ en W/(m.K)
C'est le flux de chaleur transmis au travers d'un corps soumis à un gradient de température de 1 K/m.
- la capacité thermique massique volumique C_v en J/(m³.K)
C'est la quantité de chaleur nécessaire à l'élévation de température de 1 K d'un volume de 1 m³.

$$C_v = \rho \times C_p$$

Avec :

- C_p : capacité thermique massique en J/kg.K
- ρ : masse volumique en kg/m³
- la diffusivité thermique α en m²/s
Elle caractérise la vitesse de pénétration et l'atténuation d'une onde thermique dans un milieu, selon les influences des cycles quotidiens et mensuels. Plus la diffusivité du sol est élevée, plus faible est l'amortissement de température.

Le tableau de la (Figure 15) présente quelques valeurs courantes de paramètres caractéristiques du sol (conductivité thermique, capacité thermique volumique et masse volumique).

Type de roche	Conductivité thermique W/(m.K)			Capacité thermique volumique MJ/(m ³ .K)			Masse volumique 10 ³ kg/m ³	
	mini	maxi	nomi-nale	mini	maxi	nomi-nale	mini	maxi
TERRAINS MEUBLES								
Argile sèche	0,4	1	0,6	1,5	1,6	1,5	1,8	2,0
Argile saturée d'eau	0,9	2,3	1,4	2	2,8	2,3	2	2,2
Sable sec	0,3	0,8	0,5	1,3	1,6	1,4	1,8	2,2
Sable saturé d'eau	1,5	4	2,3	2,2	2,8	2,4	1,9	2,3
Gravier/pierres, sec	0,4	0,5	0,4	1,3	1,6	1,4	1,8	2,2
Gravier/pierres, saturé d'eau	1,6	2	1,7	2,2	2,6	2,3	1,9	2,3
Moraine compacte	1,7	2,4	1,8	1,5	2,5	2	1,9	2,5
Tourbe	0,2	0,7	0,4	0,5	3,8	1,6	0,5	0,8

Type de roche		Conductivité thermique W/(m.K)			Capacité thermique volumique MJ/(m³.K)			Masse volumique 10³ kg/m³	
		mini	maxi	nomi- nale	mini	maxi	nominale	mini	maxi
ROCHES SÉDIMENTAIRES									
Molasse d'eau douce supérieure	Argilite-pélite	2,3	2,4	2,3	1,8	2,6	2,1	2,4	2,7
	Pélite	2,3	2,4	2,3					
	Grès fin	2,3	2,6	2,3					
	Grès moyen	2,5	2,8	2,6					
	Grès grossier et conglomérat	2,5	2,8	2,6					
Molasse marine supérieure	Argilite-pélite	2,6	2,9	2,7					
	Pélite	2,6	2,9	2,7					
	Grès fin	2,7	3,3	2,9					
	Grès moyen	2,7	3,2	2,8					
	Grès grossier et conglomérat	2,6	3	2,7					
Molasse d'eau douce inférieure	Argilite-pélite	2,4	2,7	2,3					
	Pélite	2,3	2,8	2,4					
	Grès fin	2,4	2,8	2,5					
	Grès moyen	2,7	3,2	2,9					
	Grès grossier et conglomérat	2,2	3,1	2,4					
Argilite		1,1	3,5	1,9	2,1	2,4	2,2	2,4	2,6
Grès				2,3	1,8	2,6	2,1	2,2	2,7
Conglomérat/brèche		1,3	5,1	2,6	1,8	2,6	2,1	2,2	2,7
Roche marneuse		1,5	3,5	2,1	2,2	2,3	2,2	2,3	2,6

▲ Figure 15 : Paramètres caractéristiques des principaux sols rencontrés

ANNEXE 2 : DETERMINATION DE LA LONGUEUR TOTALE DU TUBE

Il s'agit de déterminer la longueur de tube afin que la température d'air en sortie de puits soit la plus proche possible de la température du sol.

L'évolution de la température dans le tube est donnée à partir de la résolution du bilan thermique et s'écrit :

$$T_{(x)} = T_{\text{sol}} + (T_{\text{ext}} - T_{\text{sol}}) e^{-\frac{hp}{qm C_{p_{\text{air}}}}x}$$

Avec :

- $T_{(x)}$: température de l'air dans le tube à l'abscisse x en °C
- T_{sol} : température du sol en °C
- T_{ext} : température de l'air extérieur en °C
- h : coefficient d'échange global en W/m².K
- p : périmètre du tube en m
- $C_{p_{\text{air}}}$: capacité thermique de l'air en J/kg.K
- qm : débit massique de l'air en J/kg.K
- x : abscisse dans le tube en m

Cette équation peut également s'écrire de la façon suivante :

$$T_{(x)} = T_{\text{sol}} + (T_{\text{ext}} - T_{\text{sol}}) e^{-\frac{4h}{\rho_{\text{air}} C_{p_{\text{air}}} V D_i}x}$$

Avec, en complément des désignations ci-dessus :

- ρ_{air} : masse volumique de l'air en kg/m³
- V : vitesse de l'air dans le tube en m/s
- D_i : diamètre intérieur du tube en m
- x : abscisse dans le tube en m

La longueur caractéristique L_0 du tube (en m) est donnée par la relation :

$$L_0 = \frac{\rho_{\text{air}} C_{p_{\text{air}}} V D_i}{4h}$$

Ce qui revient à avoir :

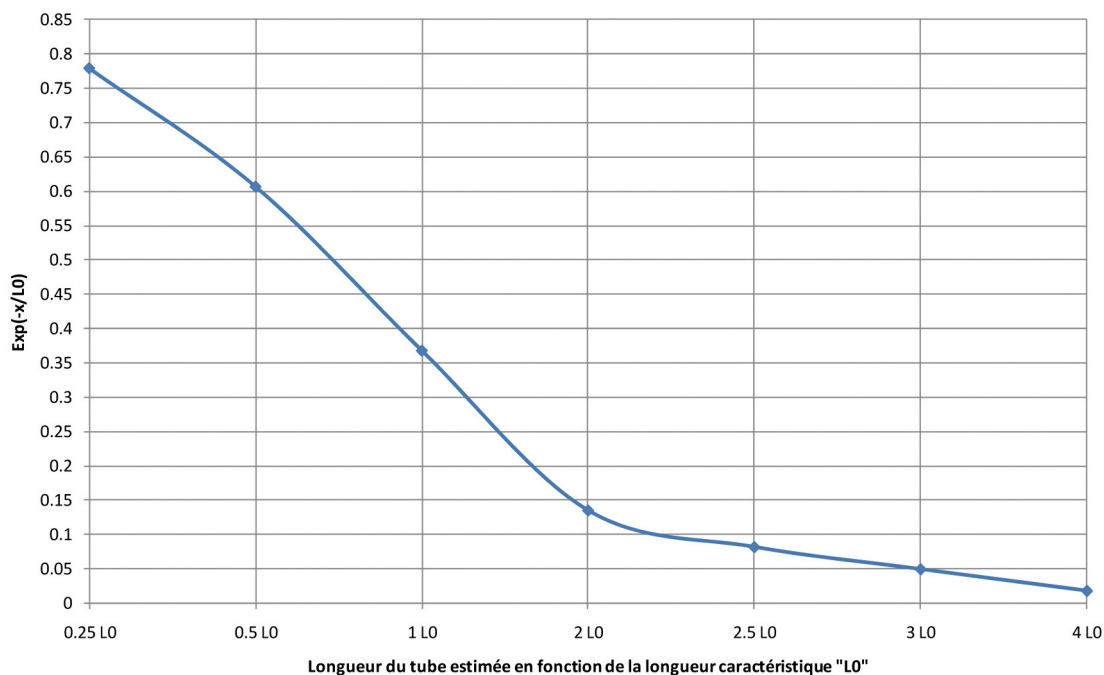
$$T_{(x)} = T_{\text{sol}} + (T_{\text{ext}} - T_{\text{sol}}) e^{-\frac{x}{L_0}}$$

A partir de la longueur caractéristique, il est déduit la longueur de tube à considérer de sorte d'avoir un optimum entre une longueur de tube et une température de sortie proche de la température de sol.

Cela revient à avoir la relation suivante qui tend vers 0 :

$$\frac{T_{(x)} - T_{\text{sol}}}{T_{\text{ext}} - T_{\text{sol}}} = e^{-\frac{x}{L_0}}$$

La (Figure 16) représente l'évolution de ce rapport des températures en fonction de la longueur de tube.



▲ Figure 16 : Evolution du rapport des températures en fonction de la longueur du tube

A partir d'une longueur de tube égale à 2 L₀, le rapport des températures est inférieur à 15%.

Ceci signifie que la température T_(x) en sortie de puits s'approche comme suit :

$$T_{\text{sortie puits}} = 0,135 T_{\text{ext}} + 0,865 T_{\text{sol}}$$

Ce rapport des températures est considéré comme un minimum acceptable en vue de la recherche d'un compromis entre la longueur totale de tube et la température d'air en sortie de puits.

La longueur de tube retenue pour le dimensionnement du réseau (L) est une longueur supérieure ou égale à deux fois la longueur caractéristique L₀ du tube :

$$L \geq 2 L_0$$



ANNEXE 3 : DETERMINATION DE LA PROCEDURE DE DIMENSIONNEMENT DU PUIT

La longueur de tube est fonction du débit d'air véhiculé et des échanges thermiques suivants :

- échange diffusif « sol / tube » ;
- échange conductif au niveau du tube ;
- échange convectif « air / tube ».

Echange diffusif « sol/tube »

Le coefficient d'échange diffusif entre le sol et le tube est défini par la formule suivante :

$$h_s = \frac{\lambda_{sol}}{r \ln(1 + \frac{d_{jour}}{r})}$$

Avec :

- h_s : coefficient d'échange diffusif en W/m².K
- λ_{sol} : conductivité thermique du sol en W/m.K
- r : rayon intérieur du tube en m
- d_{jour} : profondeur de pénétration dans le sol de l'onde thermique en m

Le paramètre d_{jour} , exprimé en mètre, est calculé par la relation suivante :

$$d_{jour} = \sqrt{\frac{\lambda_{sol} T_{jour}}{\pi \rho_{sol} C_{p_{sol}}}}$$

Avec :

- λ_{sol} : conductivité thermique du sol en W/m.K
- ρ_{sol} : masse volumique du sol en kg/m³
- $C_{p_{sol}}$: capacité thermique du sol en J/kg.K
- T_{jour} : durée d'un jour en seconde (constante égale à 86400 s)

Le coefficient d'échange diffusif est principalement lié aux caractéristiques du sol (conductivité, masse volumique et capacité thermique) qui sont des données issues du projet de construction.

La (Figure 17) indique des ordres de grandeur des caractéristiques du sol en fonction de sa nature, issus de la norme NF EN 15241.

Nature du sol	Conductivité (W/m.K)	Masse volumique (kg/m ³)	Capacité thermique (J/kg.K)
Sol humide	1,5	1400	1400
Sable sec	0,7	1500	920
Sable humide	1,88	1500	1200
Argile humide	1,45	1800	1340
Argile mouillée	2,9	1800	1590

▲ Figure 17 : Valeurs caractéristiques de sol (selon NF EN 15241)

Echange conductif au niveau du tube

Le phénomène de conduction apparaît dans le tube dont la fonction est de séparer les deux milieux « sol » et « air » qui vont échanger de la chaleur.

La résistance thermique pour un tube de longueur dx et de rayons extérieur r_e et intérieur r_i s'écrit :

$$\frac{1}{2\pi dx \lambda_{tube}} \ln \frac{r_e}{r_i}$$

Avec :

- λ_{tube} : conductivité thermique du tube en W/m.K
- r_e : rayon extérieur du tube en m
- r_i : rayon intérieur du tube en m

En considérant une paroi de faible épaisseur devant le rayon du tube, il peut être fait l'approximation d'une paroi plane. La résistance thermique est alors égale à :

$$\frac{e_p}{\lambda_{tube}}$$

Avec :

- λ_{tube} : conductivité thermique du tube en W/m.K
- e_p : épaisseur du tube en m

Le phénomène de conduction dans le tube est lié aux caractéristiques du tube et notamment au diamètre intérieur, à son épaisseur et à sa conductivité. Ces caractéristiques sont fournies par le fabricant dans les documentations techniques voire les Avis Techniques.

Des exemples de tubes sont donnés en (Figure 18). Ils ne peuvent en aucun cas se substituer aux données techniques du projet à fournir par le fabricant.

	Diamètre intérieur (m)	Epaisseur du tube (mm)	Conductivité du tube (W/m.K)
Tube 1 (tube synthétique)	0,184	8	0,28
Tube 2 (tube métallique)	0,212	3,4	50
Tube 3 (tube synthétique)	0,232	8,8	0,28
Tube 4 (tube métallique)	0,315	4,8	50

▲ Figure 18 : Exemples de caractéristiques de tubes

Echange convectif « air/tube »

Les échanges thermiques par convection dépendent des caractéristiques de l'air extérieur mais surtout de la vitesse de l'air.

Le coefficient d'échange convectif entre l'air et le tube est défini par la relation suivante :

$$h_a = \frac{Nu \lambda_{air}}{Di}$$

Avec :

- h_a : coefficient d'échange convectif en $W/m^2.K$
- λ_{air} : conductivité thermique de l'air en $W/m.K$
- Di : diamètre intérieur du tube en m
- Nu : nombre de Nusselt adimensionnel caractérisant l'échange thermique entre l'air et la paroi

Le nombre de Nusselt caractérise l'échange thermique entre l'air et la paroi. A l'intérieur du tube, le nombre de Nusselt peut être déterminé par la formule de Colburn comme suit :

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,33}$$

Avec :

- Nu : nombre de Nusselt sans dimension
- Re : nombre de Reynolds sans dimension
- Pr : nombre de Prandtl sans dimension

Le nombre de Reynolds caractérise le régime d'écoulement. Pour une application de puits climatique, l'écoulement est considéré comme turbulent.

Le nombre de Reynolds est défini à partir de la relation suivante :

$$Re = \frac{\rho_{air} V Di}{\mu_{air}}$$

Avec :

- ρ_{air} : masse volumique de l'air en kg/m^3
- V : vitesse de l'air en m/s
- Di : diamètre intérieur du tube en m
- μ_{air} : viscosité dynamique de l'air en $kg/m.s$

Le nombre de Prandtl caractérise les propriétés thermiques de l'air. Il est défini par la relation suivante :

$$Pr = \frac{\mu_{air} C_{p_{air}}}{\lambda_{air}}$$

Avec :

- μ_{air} : viscosité dynamique de l'air en $kg/m.s$
- $C_{p_{air}}$: capacité thermique de l'air en $J/kg.K$
- λ_{air} : conductivité thermique de l'air en $W/m.K$

En première approche ou par défaut, les caractéristiques de l'air extérieur peuvent être considérées, indépendamment de la zone climatique, égales aux valeurs données dans la (Figure 19).

Les caractéristiques réelles du projet sont à privilégier pour une meilleure estimation des échanges thermiques.

Paramètres	Valeurs retenues
Moyenne de la température d'air extérieur	284 K (= 11°C)
Masse volumique de l'air (ρ_{air})	1,242 kg/m ³
Capacité thermique de l'air ($C_{p_{\text{air}}}$)	1003 J/kg.K
Conductivité de l'air (λ_{air})	0,025 W/m.K
Viscosité dynamique de l'air (μ_{air})	1,78.10 ⁻⁵ kg/m.s
Nombre de Prandtl (Pr)	0,71

▲ Figure 19 : Valeurs caractéristiques de l'air extérieur

Echange global

La résistance thermique globale incluant les phénomènes de conduction, convection et diffusion est la somme des différentes résistances thermiques. Cette résistance globale est égale à :

$$R_{th} = \frac{1}{ha} + \frac{1}{hs} + \frac{e_p}{\lambda_{\text{tube}}}$$

Avec :

- R_{th} : résistance thermique globale en m².K/W
- ha : coefficient d'échange convectif en W/m².K
- hs : coefficient d'échange diffusif en W/m².K
- e_p : épaisseur du tube en m
- λ_{tube} : conductivité thermique du tube en W/m.K

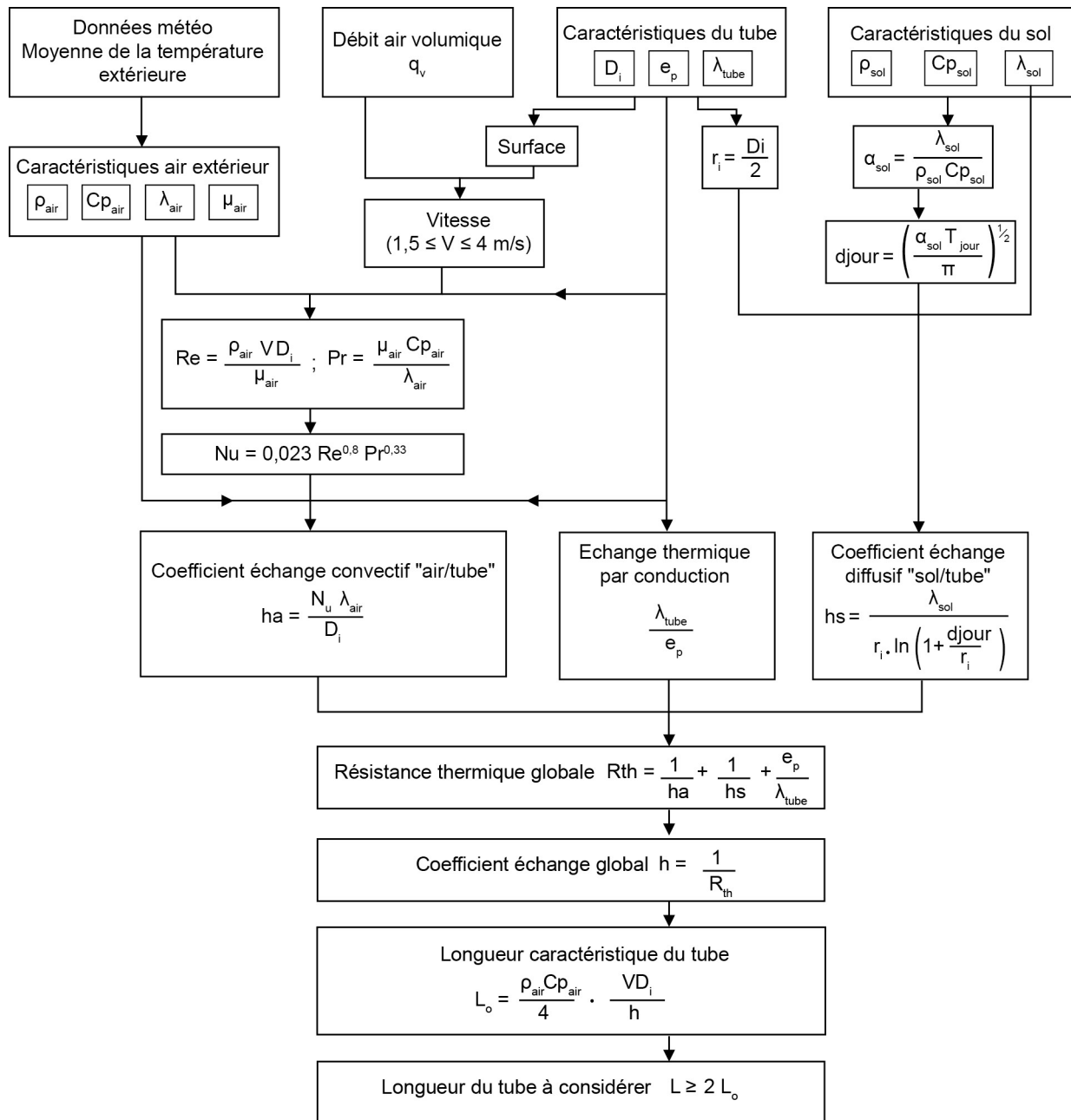
Le coefficient d'échange global est défini comme l'inverse de la résistance thermique globale et s'écrit comme suit :

$$h = \frac{1}{R_{th}}$$

Avec :

- h : coefficient d'échange global en W/m².K
- R_{th} : résistance thermique globale en m².K/W

Procédure générale de dimensionnement du réseau de puits climatique



▲ Figure 20 : Procédure de dimensionnement d'un puits climatique



ANNEXE 4 : ABAQUES DE DIMENSIONNEMENT

Les caractéristiques de tubes et de natures de sol considérées pour la méthode graphique sont définies en (Figure 21) et en (Figure 22). Les tubes retenus sont des tubes synthétiques et métalliques de conductivités très différentes et dont les diamètres intérieurs sont couramment rencontrés pour les applications actuelles en habitat individuel et tertiaire.

Type de tube	Diamètre intérieur (m)	Epaisseur du tube (mm)	Conductivité du tube (W/m.K)
Tube 1 (tube synthétique)	0,184	8	0,28
Tube 2 (tube métallique)	0,212	3,4	50
Tube 3 (tube synthétique)	0,232	8,8	0,28
Tube 4 (tube métallique)	0,315	4,8	50

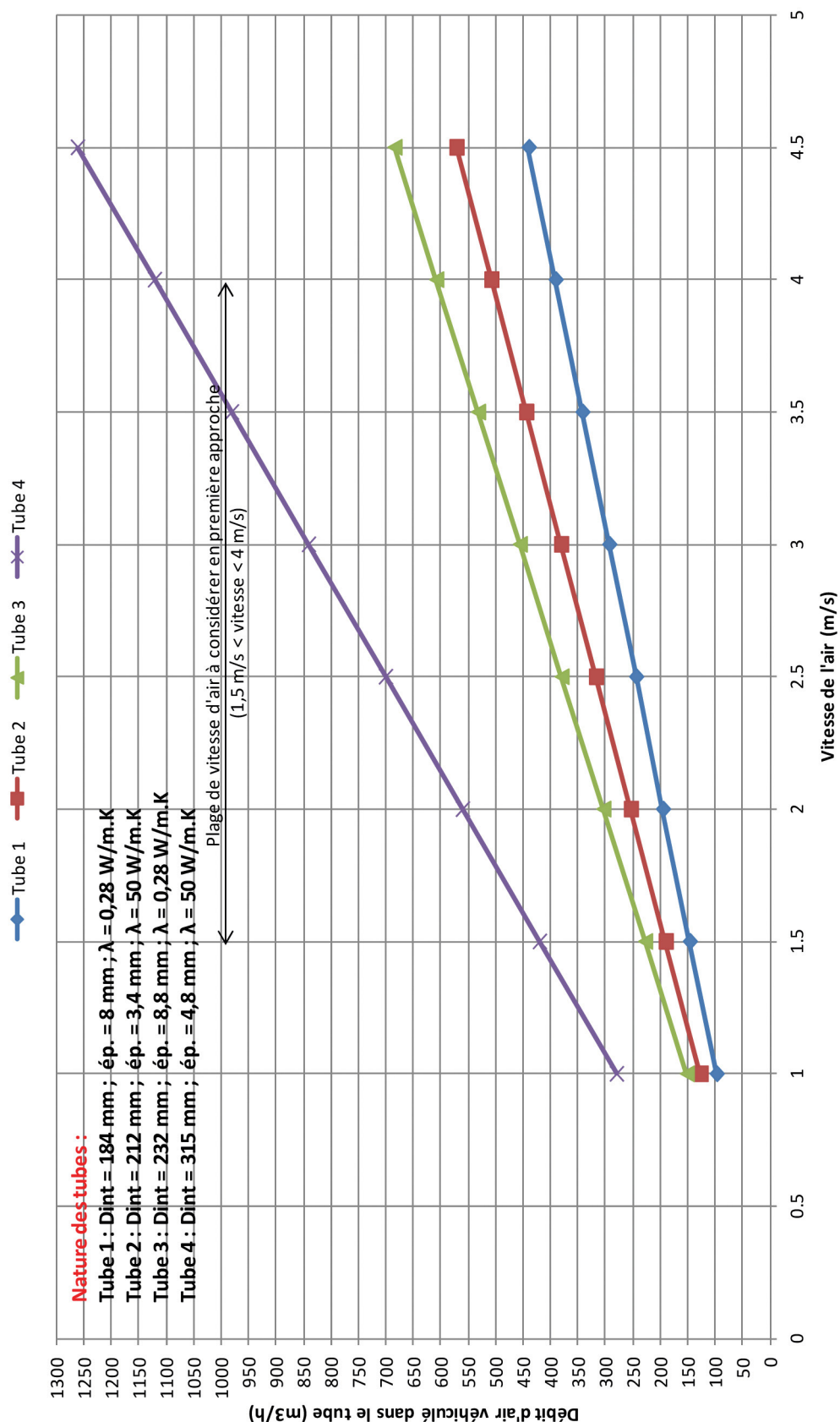
▲ Figure 21 : Caractéristiques de tubes

Nature du sol	Conductivité (W/m.K)	Masse volumique (kg/m ³)	Capacité thermique (J/kg.K)
Sol humide	1,5	1400	1400
Sable sec	0,7	1500	920
Sable humide	1,88	1500	1200
Argile humide	1,45	1800	1340
Calcaire	0,71	1670	2230

▲ Figure 22 : Caractéristiques de sol

La (Figure 23) permet de déterminer le diamètre et le type de tube pour optimiser la vitesse, selon le débit d'air à véhiculer. Les (Figure 24) à (Figure 28) fournissent la longueur de tube pour différentes natures de sol.

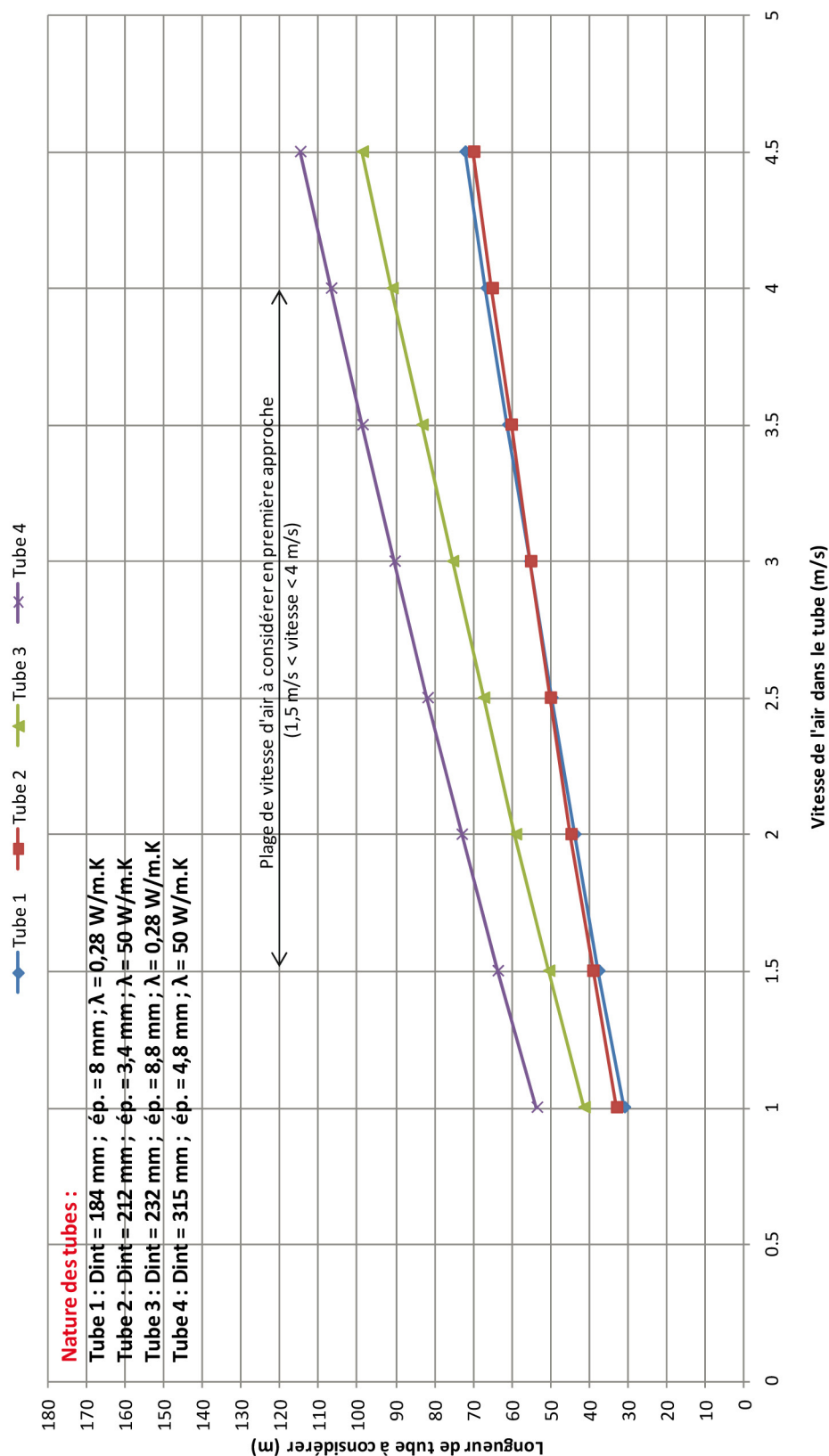
Détermination du débit d'air véhiculé dans le tube en fonction de la vitesse de l'air et des caractéristiques du tube



▲ Figure 23 : Estimation des caractéristiques dimensionnelles du tube à considérer pour véhiculer un débit d'air à une vitesse donnée

Longueur totale du tube à considérer en fonction des caractéristiques du tube et de la vitesse de l'air (hypothèse : Longueur du tube = $2 L_0$)

Nature du sol : sol humide ($\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 1,5 \text{ W/m.K}$; $C_p = 1400 \text{ J/kg.K}$)

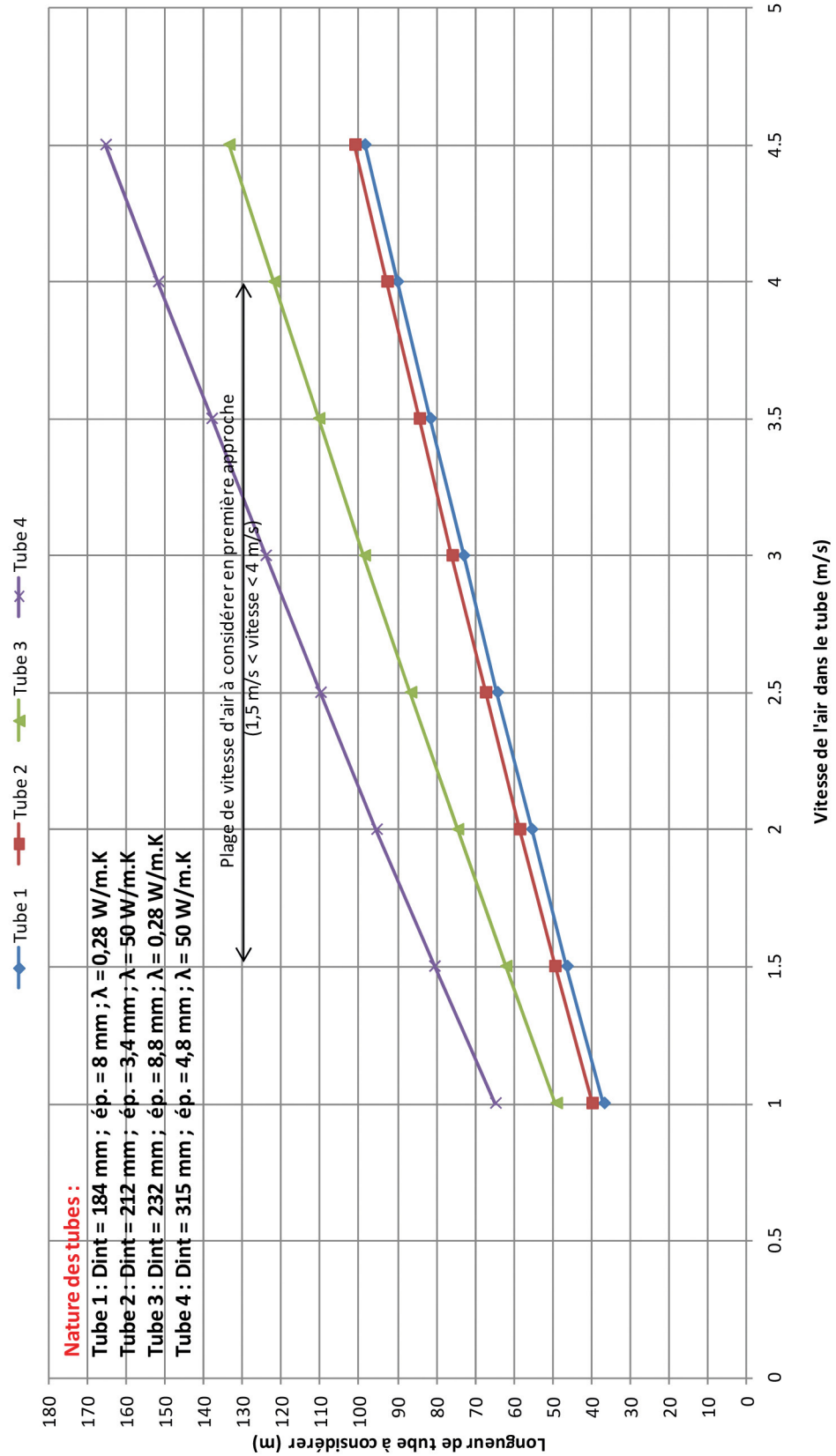


▲ Figure 24 : Estimation de la longueur de tube à considérer pour un « sol humide » à partir du débit d'air véhiculé dans le tube et des caractéristiques du tube

Longueur totale du tube à considérer en fonction des caractéristiques du tube et de la vitesse de l'air

(hypothèse : longueur du tube = $2 L_0$)

Nature du sol : sable sec ($\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,7 \text{ W/m.K}$; $C_p = 920 \text{ J/kg.K}$)

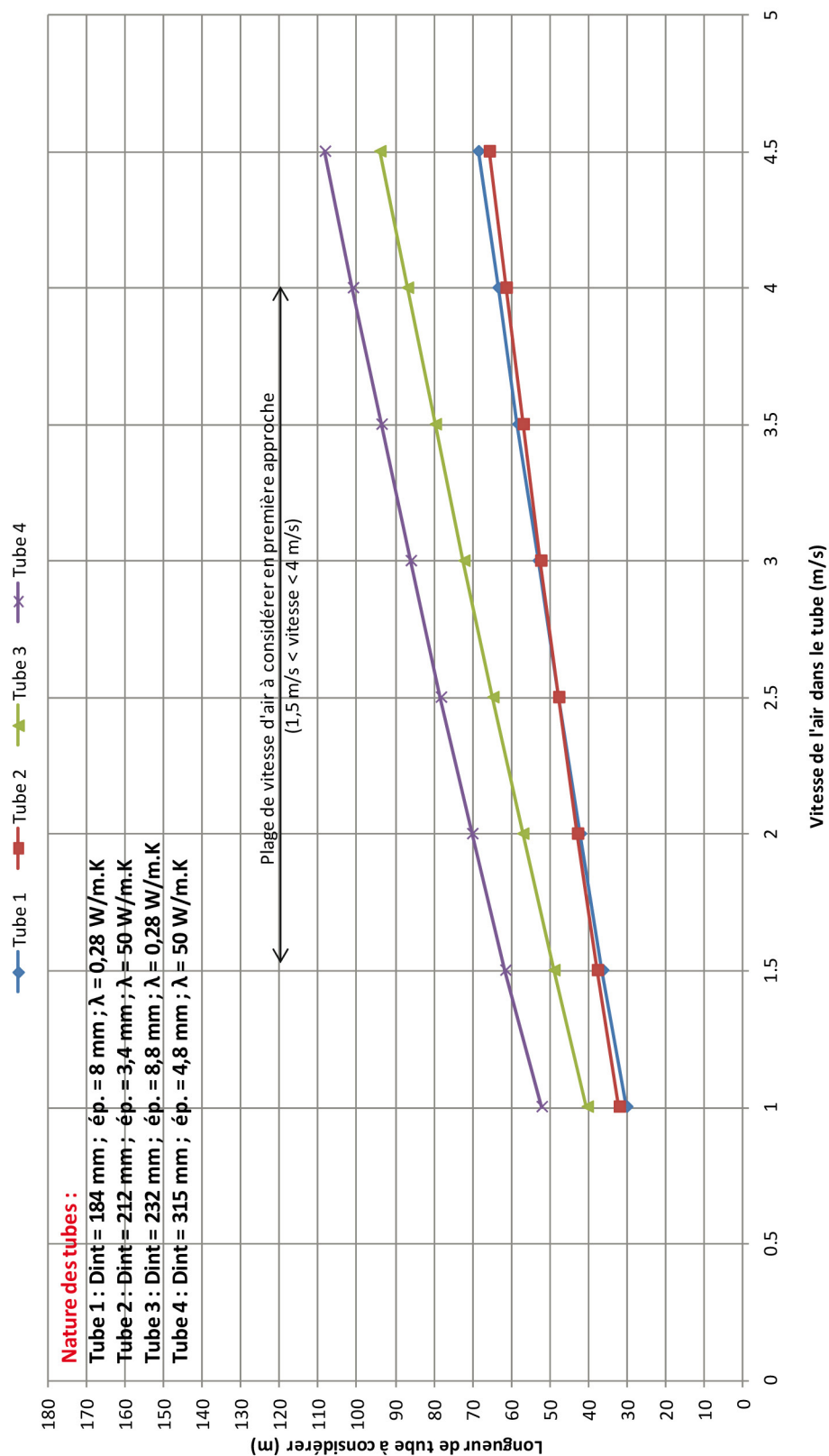


▲ Figure 25 : Estimation de la longueur de tube à considérer pour un sol « sable sec » à partir du débit d'air véhiculé dans le tube et des caractéristiques du tube

Longueur totale du tube à considérer en fonction des caractéristiques du tube et de la vitesse de l'air

(hypothèse : longueur du tube = $2 L_0$)

Nature du sol : sable humide ($\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 1,88 \text{ W/m.K}$; $C_p = 1200 \text{ J/kg.K}$)

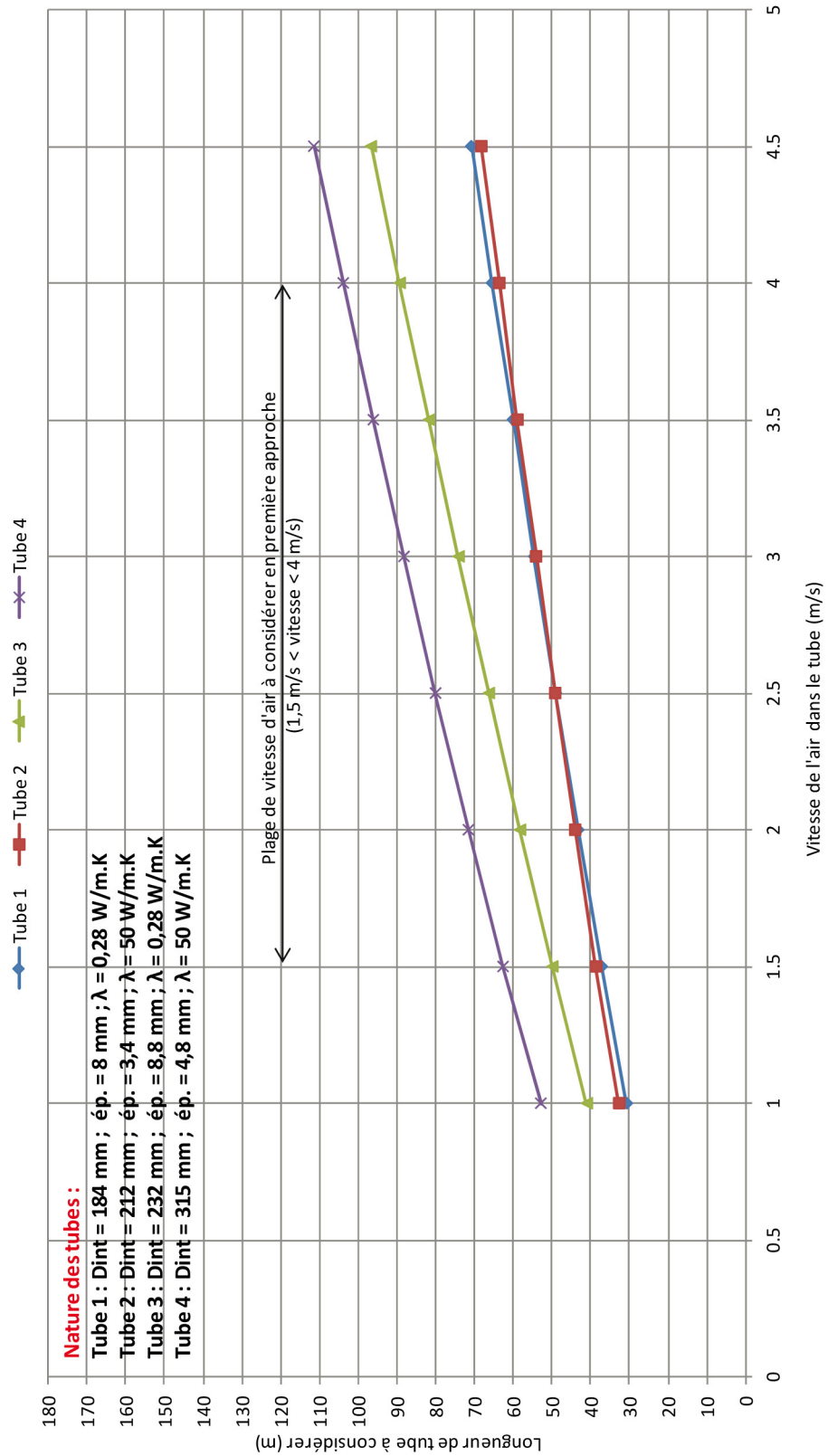


▲ Figure 26 : Estimation de la longueur de tube à considérer pour un sol « sable humide » à partir du débit d'air véhiculé dans le tube et des caractéristiques du tube

Longueur totale du tube à considérer en fonction des caractéristiques du tube et de la vitesse de l'air

(hypothèse : longueur du tube = $2 L_0$)

Nature du sol : argile humide ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 1,45 \text{ W/m.K}$; $C_p = 1340 \text{ J/kg.K}$)

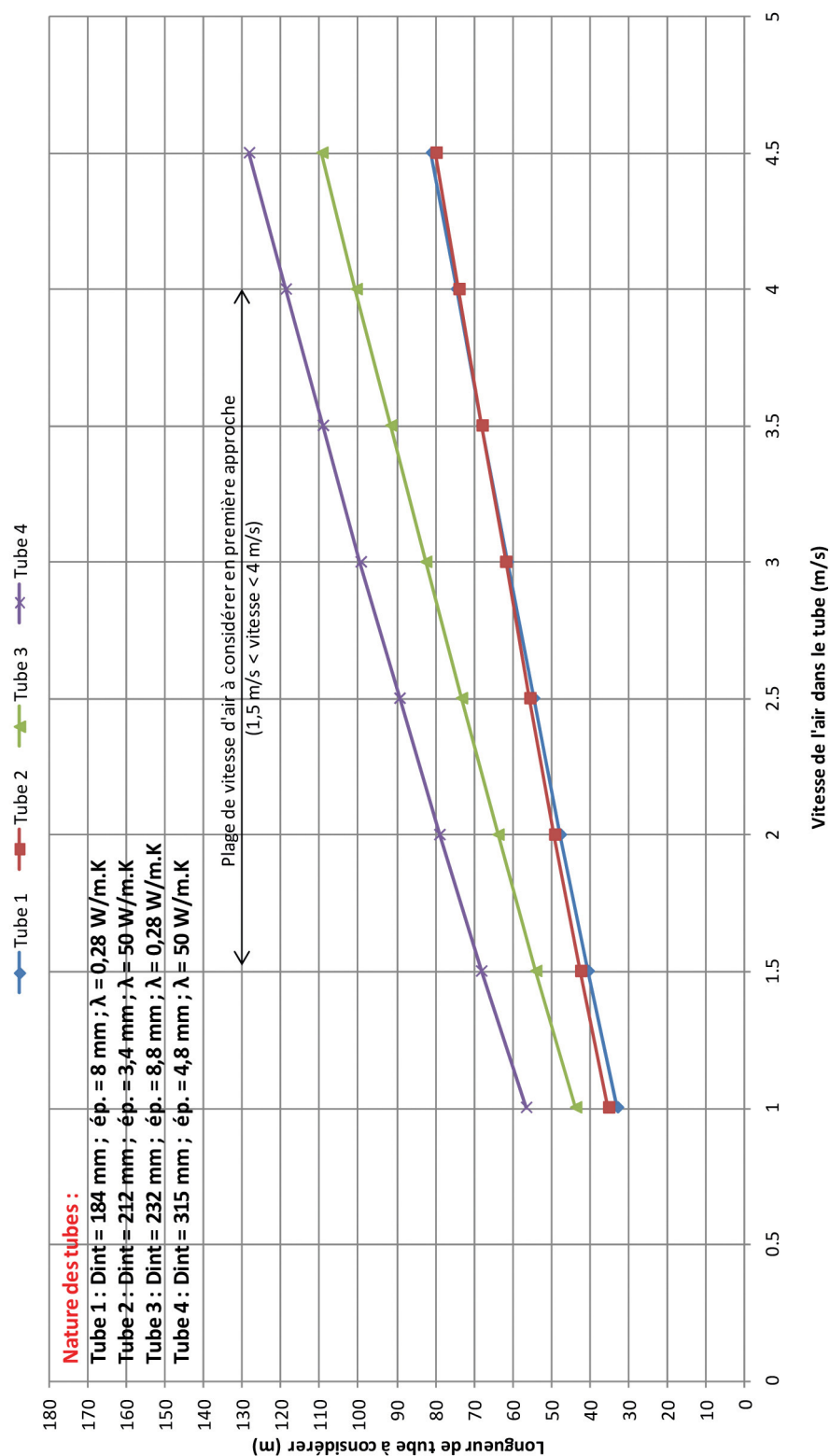


▲ Figure 27 : Estimation de la longueur de tube à considérer pour un sol « argile humide » à partir du débit d'air véhiculé dans le tube et des caractéristiques du tube

Longueur totale du tube à considérer en fonction des caractéristiques du tube et de la vitesse de l'air

(hypothèse : longueur du tube = $2 L_0$)

Nature du sol : calcaire ($\rho = 1670 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 0,71 \text{ W/m.K}$; $C_p = 2230 \text{ J/kg.K}$)



▲ Figure 28 : Estimation de la longueur de tube à considérer pour un sol « calcaire » à partir du débit d'air véhiculé dans le tube et des caractéristiques du tube

ANNEXE 5 : EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT PAR ABAQUES

Un exemple d'application pour déterminer la longueur de tube préconisée est donné à partir des (Figure 29) et (Figure 30).

Soit un débit d'air de 450 m³/h à véhiculer dans un tube. Le puits climatique est à implanter dans un sol "argileux humide ».

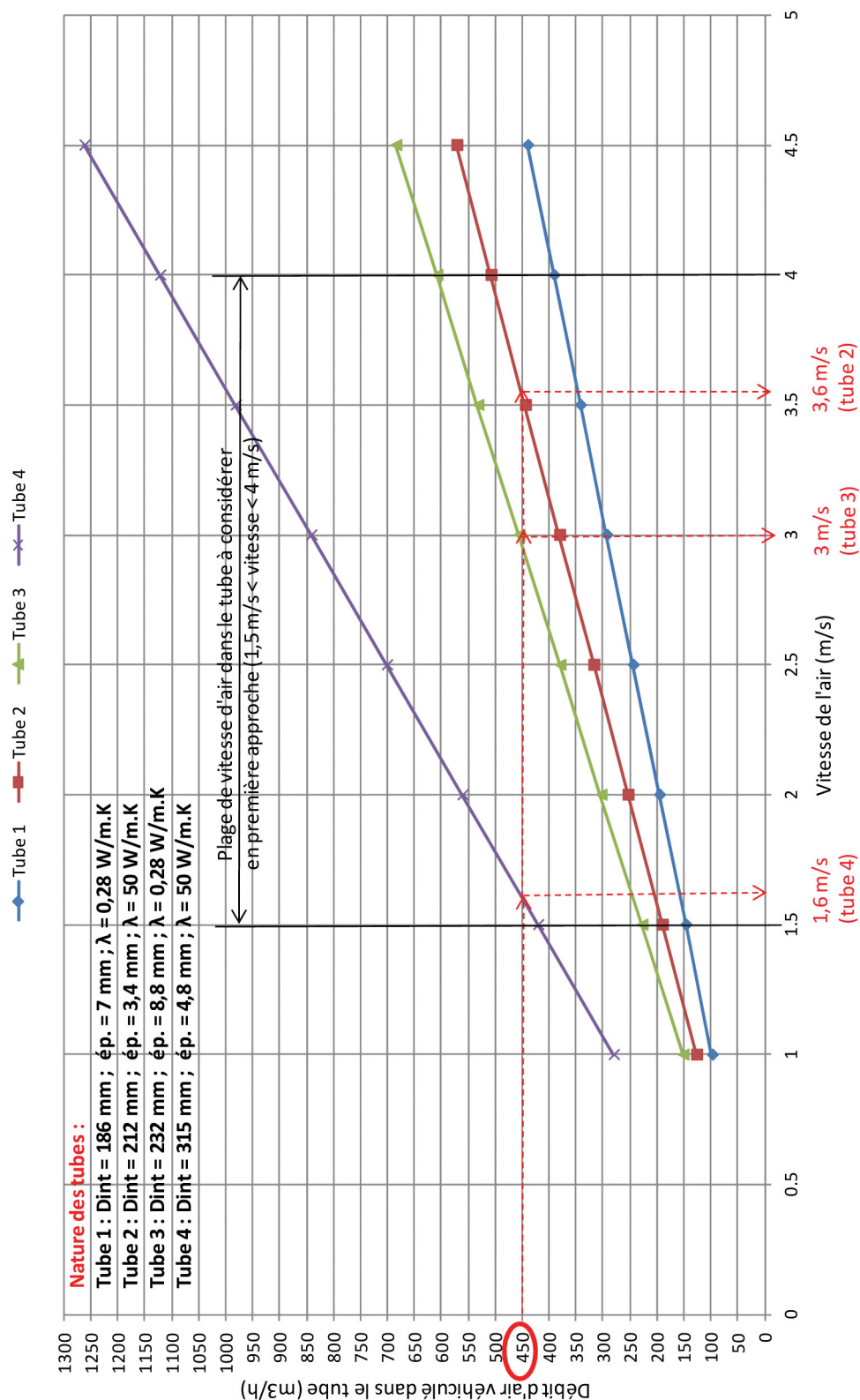
En première approximation, la vitesse de l'air à considérer dans le tube est comprise entre 1,5 et 4 m/s.

Trois tubes permettent de répondre à ces exigences, à savoir (Figure 29) :

- le tube 2 avec une vitesse de 3,6 m/s ;
- le tube 3 avec une vitesse de 3 m/s ;
- le tube 4 avec une vitesse de 1,6 m/s.

Le report des vitesses obtenues pour les trois tubes sur la (Figure 30) permet d'en déduire la longueur du tube à considérer pour ces trois cas :

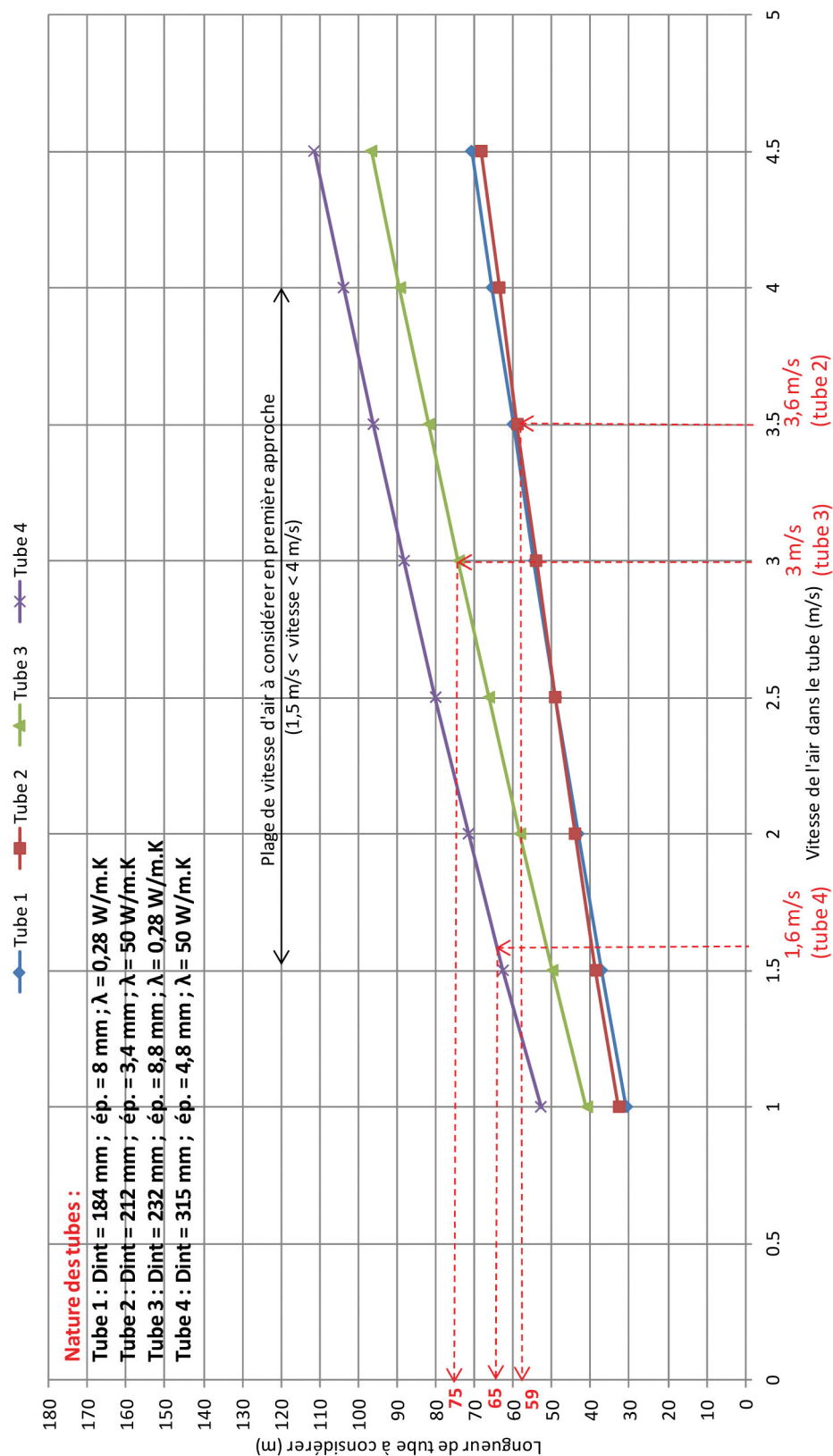
- longueur du tube de 59 mètres en considérant le tube 2 ;
- longueur du tube de 75 mètres en considérant le tube 3 ;
- longueur du tube de 65 mètres en considérant le tube 4.



▲ Figure 29 : Détermination des caractéristiques dimensionnelles des tubes pour véhiculer un débit de $450 \text{ m}^3/\text{h}$ à une vitesse comprise entre 1,5 et 4 m/s (exemple d'application)

Longueur totale du tube à considérer en fonction des caractéristiques du tube et de la vitesse de l'air
(hypothèse : longueur du tube = $2 L_0$)

Nature du sol : **argile humide** ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 1,45 \text{ W/m.K}$; $C_p = 1340 \text{ J/kg.K}$)



▲ **Figure 30** : Détermination de la longueur du tube à considérer en fonction des caractéristiques du tube pour véhiculer 450 m³/h dans un sol « argile humide » (exemple d'application)

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOVA) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



GUIDE

PUITS CLIMATIQUES

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

MARS 2015

NEUF-RÉNOVATION

Ce guide fournit les prescriptions relatives à la conception et au dimensionnement d'une installation nouvelle de puits climatique destinée à l'habitat ou au tertiaire tant en construction neuve qu'en rénovation.

Le puits climatique est défini depuis la prise d'air neuf jusqu'à la pénétration dans le bâtiment. L'installation de ventilation raccordée au puits climatique ne fait pas partie du système et n'est pas traitée dans ce guide. Cependant, pour s'assurer du bon fonctionnement de l'installation complète intégrant le puits climatique et l'installation de ventilation, il est détaillé des prescriptions relatives au bipasse du puits climatique et à sa régulation.

Ce guide décrit les étapes de conception du puits : depuis l'étude préalable (nature du sol, environnement extérieur, terrain...) jusqu'aux opérations de contrôle. Les éléments de choix et de dimensionnement de chaque composant sont traités. Il propose une méthode de dimensionnement par abaques pour déterminer le diamètre et la longueur de tubes.



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

