

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE
Épreuve d'enseignement de spécialité
SESSION 2023

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE
L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE

Ingénierie, innovation et développement
durable

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Mardi 21 mars 2023

Durée de l'épreuve : 4 heures

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 40 pages numérotées de 1/40 à 40/40 dans la version originale et **93 pages numérotées de 1/93 à 93/93 dans la version en caractères agrandis.**

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30) :

12 points

Partie spécifique (durée indicative 1h30) :

8 points

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet. Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Tous les documents réponses, mêmes vierges, sont à rendre obligatoirement avec la copie.

PARTIE commune (2,5h) 12 points

VÉLODROME RAYMOND POULIDOR



Pages agrandies

| | |
|--|---------|
| Présentation de l'étude et questionnement | 4 à 32 |
| Documents techniques DT1 à DT8 | 33 à 46 |
| Documents réponses DR1 à DR6..... | 47 à 55 |

Mise en situation

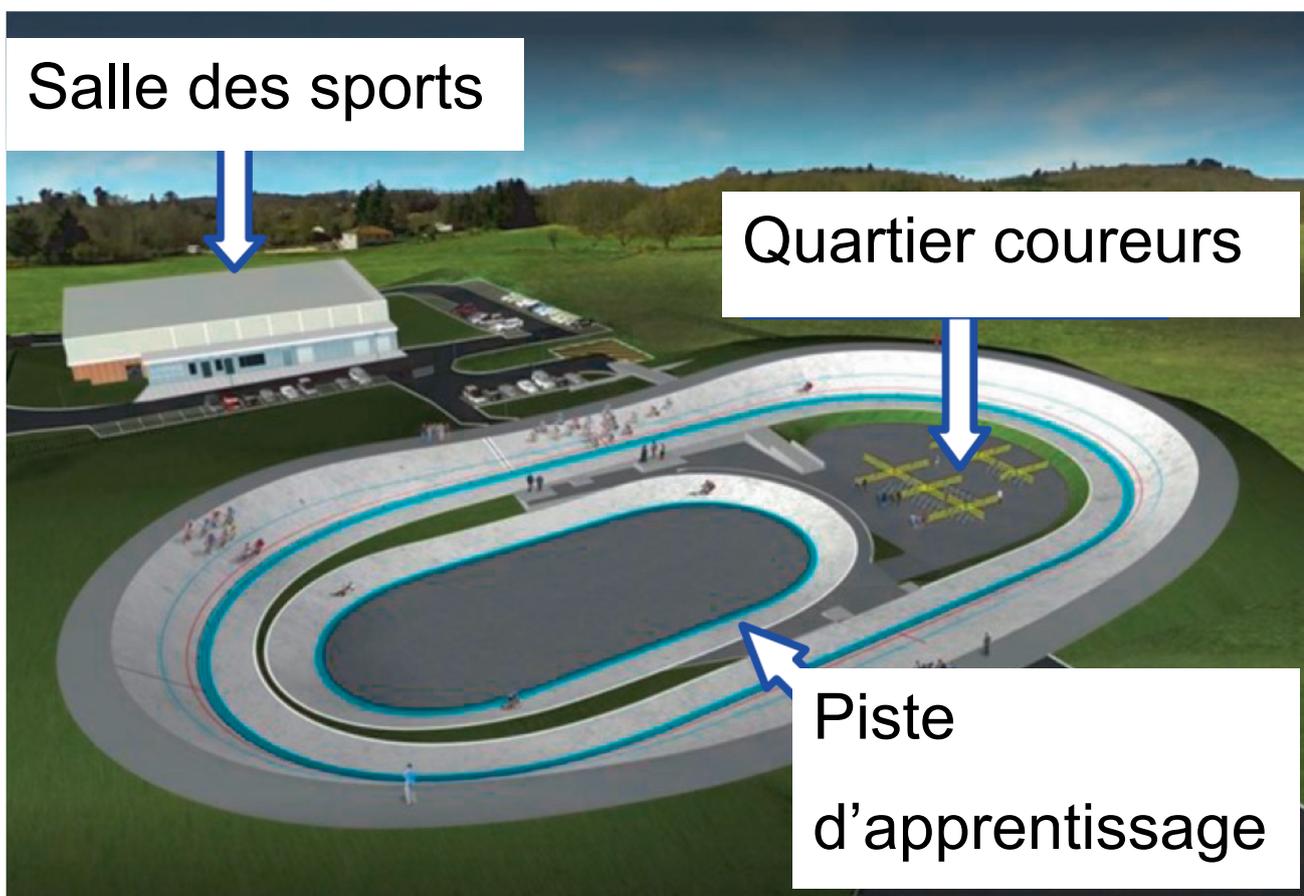
Le vélodrome Raymond Poulidor est situé à Bonnac-la-Côte à moins de 5 minutes de l'autoroute, près de Limoges dans le département de la Haute-Vienne. Il a été inauguré le 3 juillet 2019.

Ce vélodrome couvert avec une piste en béton est unique en France. Il répond à la demande des différentes associations sportives et clubs du territoire, voire au-delà.

Il met à disposition de tous un site d'entraînement sécurisé, permettant le développement de la pratique du cyclisme sur piste à tous niveaux et par tous.

Afin de s'assurer de l'homologation de l'équipement, la Fédération Française de Cyclisme (FFC) a été associée à sa conception et à sa réalisation. Ainsi, le vélodrome et ses annexes ont été conçus pour accueillir des compétitions de niveau national.

Projet initial (sans couverture) :



Le projet initial sans couverture a été achevé en juin 2017. Il était configuré comme page précédente et comprenait :

- une piste en béton de 250 m de long sur 7 m de large, à virages relevés avec une inclinaison maximale de $40,39^\circ$;
- le quartier des coureurs, à l'intérieur de la piste, accessible par un tunnel abritant des sanitaires ;
- une piste d'apprentissage et d'échauffement lors des compétitions, de 125 m de long sur 4 m de large. Elle sert aussi aux enfants ;

- une extension de la halle des sports communale, bâtiment d'environ 100 m² avec un accès indépendant qui abrite les locaux de stockage du matériel, l'atelier de petite mécanique, une salle de réunion, un bureau à disposition des éducateurs du vélodrome et un local pour l'assistance médicale.

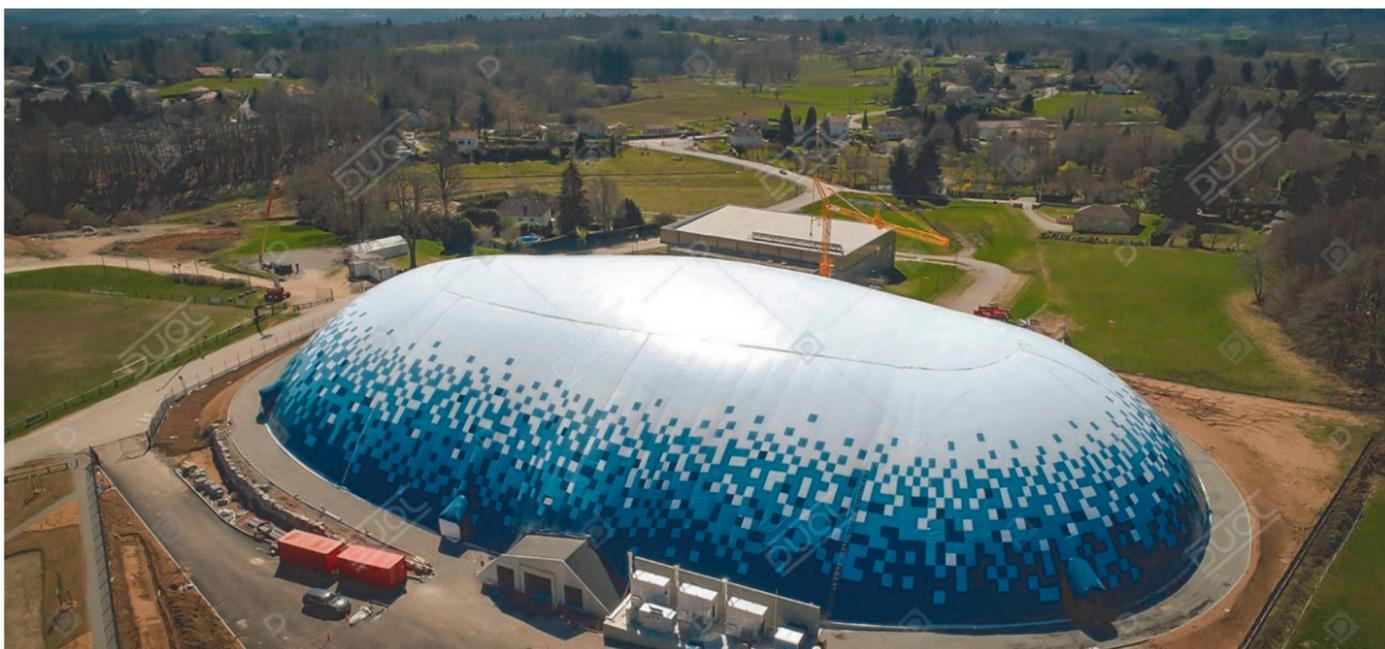
Nécessité d'une couverture

Pour maintenir la piste sèche et assurer une utilisation continue de l'équipement quelles que soient les conditions météorologiques, l'exploitant a choisi d'équiper le vélodrome d'une couverture en structure gonflable appelé « dôme » composée d'une double toile tendue.

Un système de soufflerie injecte de l'air sous pression qui la tient gonflée et tendue.



Ce dôme, d'une surface totale de 11 158 m², a pour vocation de couvrir l'ensemble des existants du vélodrome dans un seul volume, comme sur l'image page agrandie suivante.

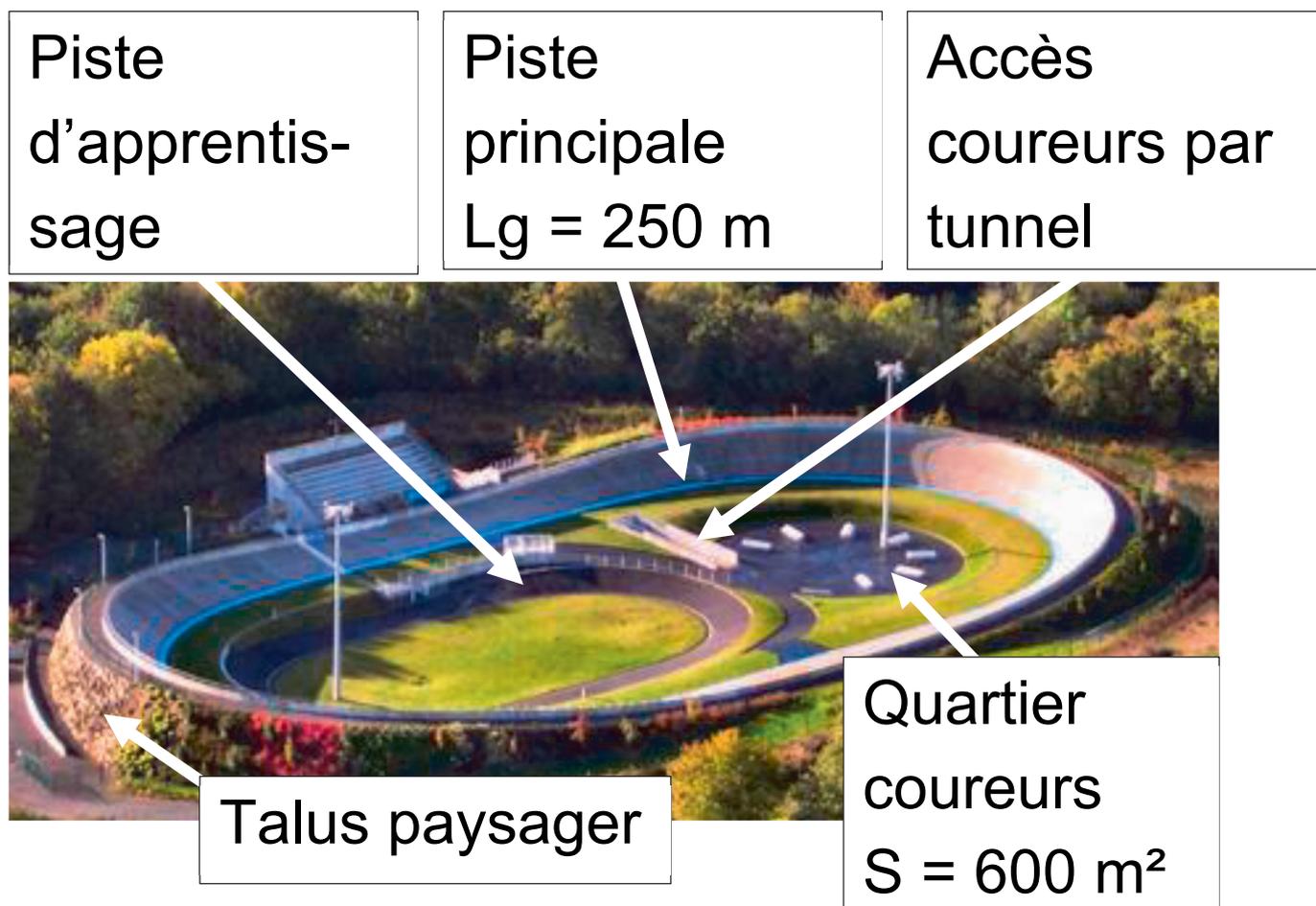


Le site peut accueillir jusqu'à 1 636 spectateurs, répartis dans les tribunes, autour de la piste et dans le quartier des coureurs.

Travail demandé

Partie 1 : le type de piste et les dimensions du vélodrome sont-ils justifiés ?

Cette partie concerne le vélodrome **avant** couverture.



Dès le début du projet, le client envisageait une piste en béton, notamment pour sa capacité à résister aux intempéries. Il existe des pistes en béton sur remblai ou en béton sur ossature, dont les principes constructifs sont présentés dans le DT1.

Question 1.1 (DT1 ; DR1)

Comparer de façon qualitative les pistes en béton sur remblai et les pistes en béton sur ossature sur le DR1 en proposant la note 0 ou +1 pour chaque critère.

Justifier le choix d'une piste en béton sur remblai.

Question 1.2 (DR1)

Associer à chaque pilier du développement durable (économique, écologique et sociétal) un critère issu du DR1.

La Fédération Française de Cyclisme impose que la longueur de la piste principale L_g soit choisie de telle sorte qu'un nombre entier de demi-tours représente 1 km.

Question 1.3 (DT2)

Calculer le nombre de demi-tours de piste principale pour réaliser 1 km.

Conclure.

Dans les virages sur la piste principale, le cycliste est en mouvement circulaire autour du point O (voir DR2), avec une vitesse maximale de $85 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

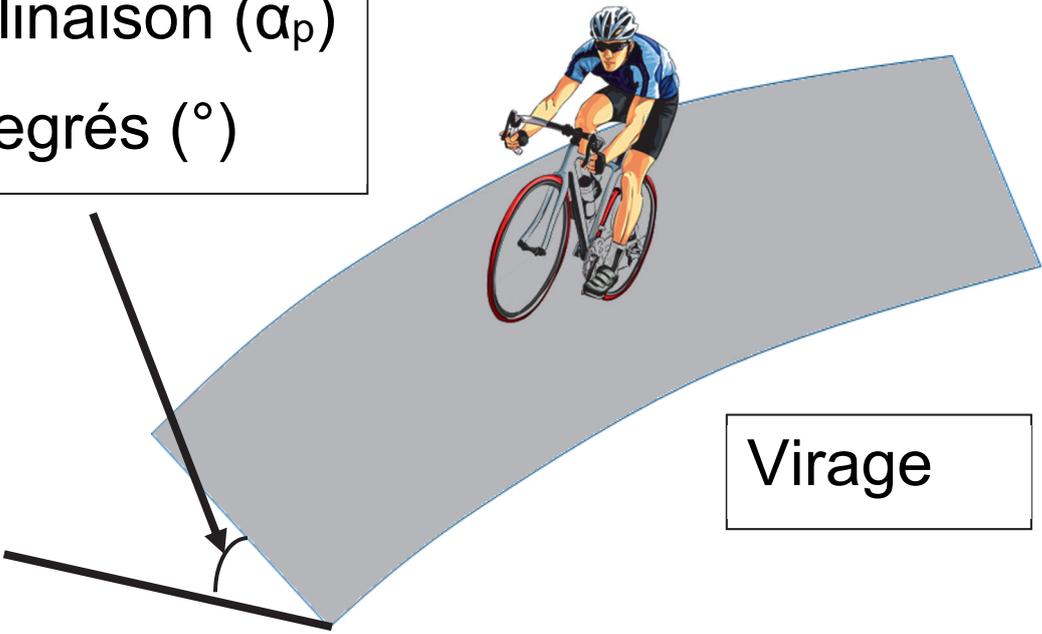
Question 1.4 (DR2)

Tracer à l'échelle le vecteur vitesse linéaire du cycliste, $\overrightarrow{V}_{\text{cycliste/piste}}$ sur la piste principale pour une vitesse maximale, au point indiqué sur le DR2.

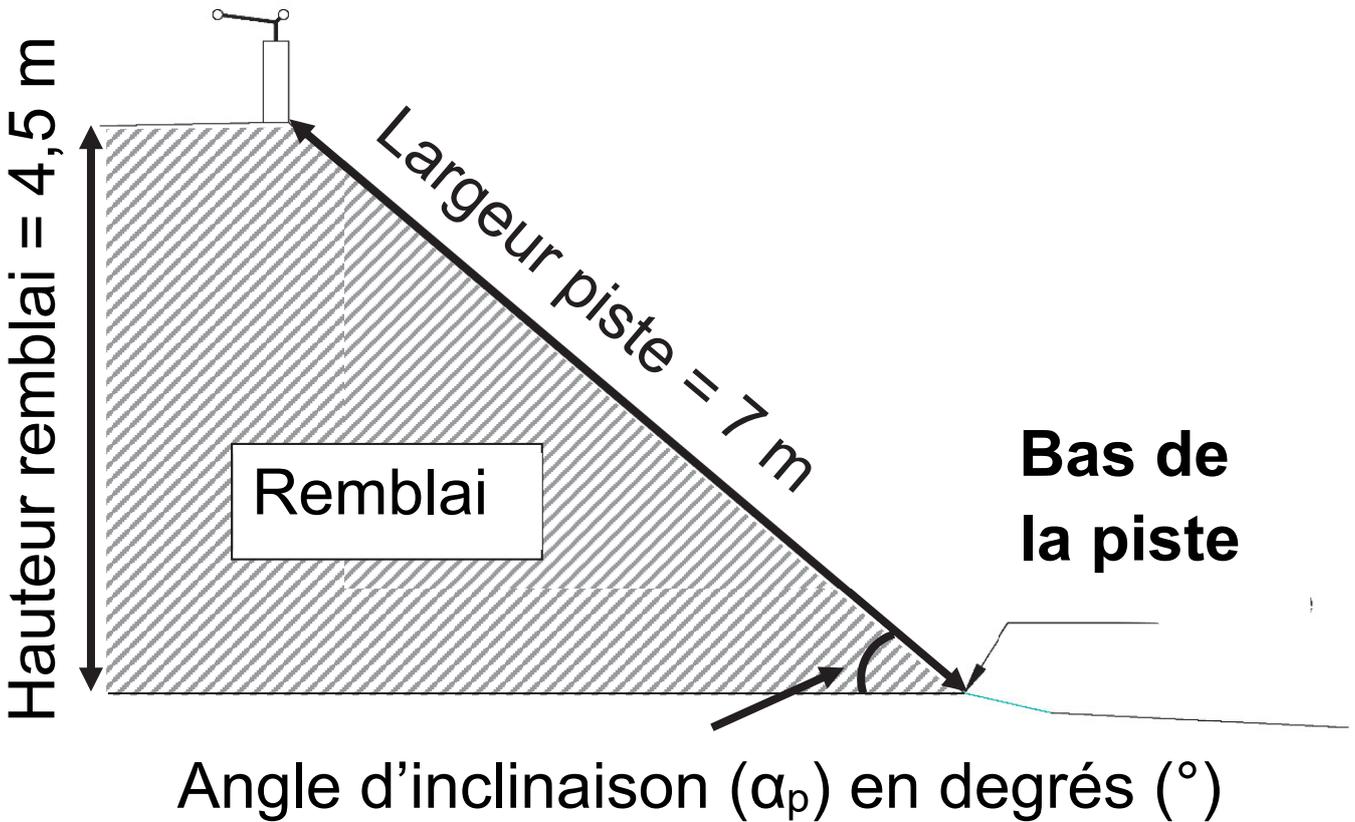
Échelle des vitesses : $1 \text{ cm} \rightarrow 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Pour pallier l'effet centrifuge, les virages sont relevés, c'est-à-dire inclinés d'un angle α_p .

Angle
d'inclinaison (α_p)
en degrés ($^\circ$)



Virage



Question 1.5 (DT2)

Calculer l'angle d'inclinaison (α_p) de la piste dans un virage.

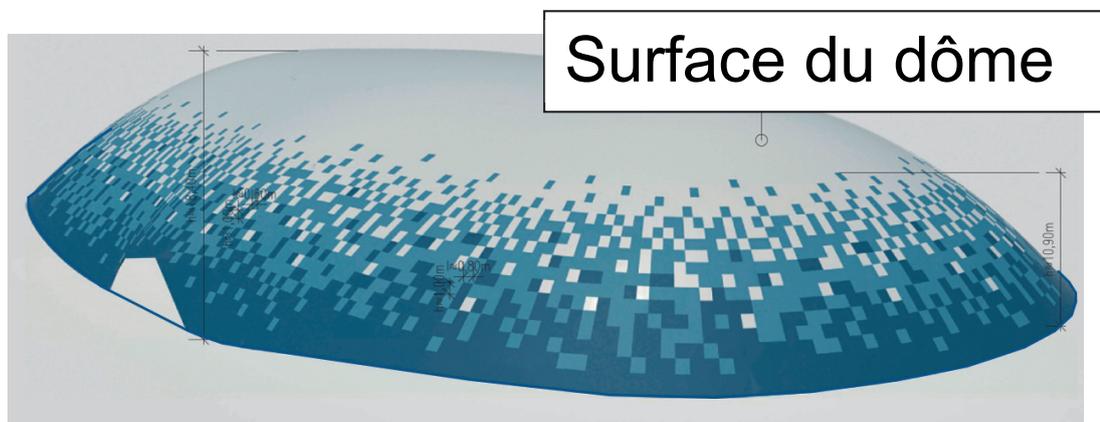
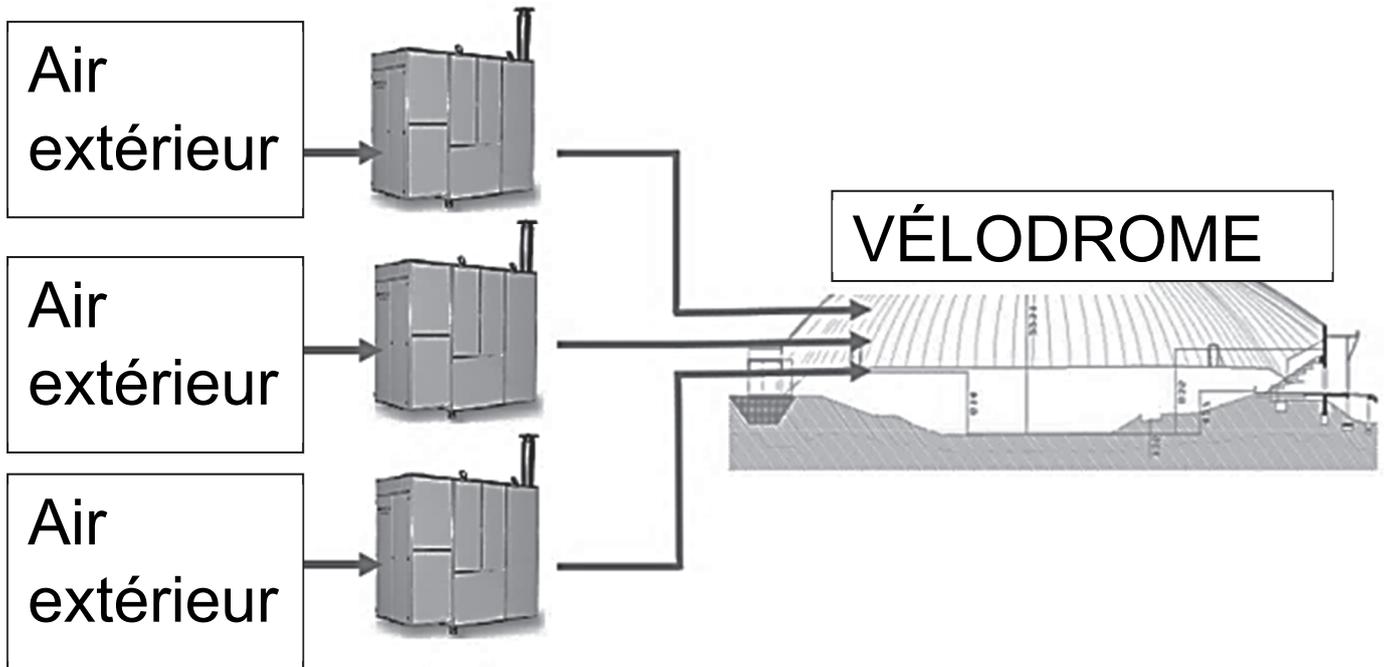
Justifier la conformité de cette inclinaison.

Question 1.6

Conclure sur la pertinence des choix du type de piste et de ses dimensions.

Partie 2 : la pression intérieure est-elle suffisante pour soulever le dôme ?

Afin de rendre la piste praticable en toute saison, le client décide de couvrir la piste de façon définitive. Le principe d'un dôme gonflable est retenu. Trois générateurs d'air chaud envoient de l'air dans le dôme pour maintenir une pression suffisante pour le soulever (DT3).



Question 2.1 (DT2)

Calculer le poids du dôme.

Rappel : Masse = Masse surfacique x Surface
du dôme

On donne : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Les générateurs d'air chaud peuvent maintenir une pression relative intérieure maximale de 300 Pa.

Question 2.2 (DT3)

Calculer la force résultante de cette pression intérieure.

Conclure sur la capacité des ventilateurs à soulever le dôme en l'absence de perturbations extérieures.

Question 2.3 (DT4)

D'après le diagramme de contexte, **relever** deux perturbations extérieures que la pression intérieure doit compenser.

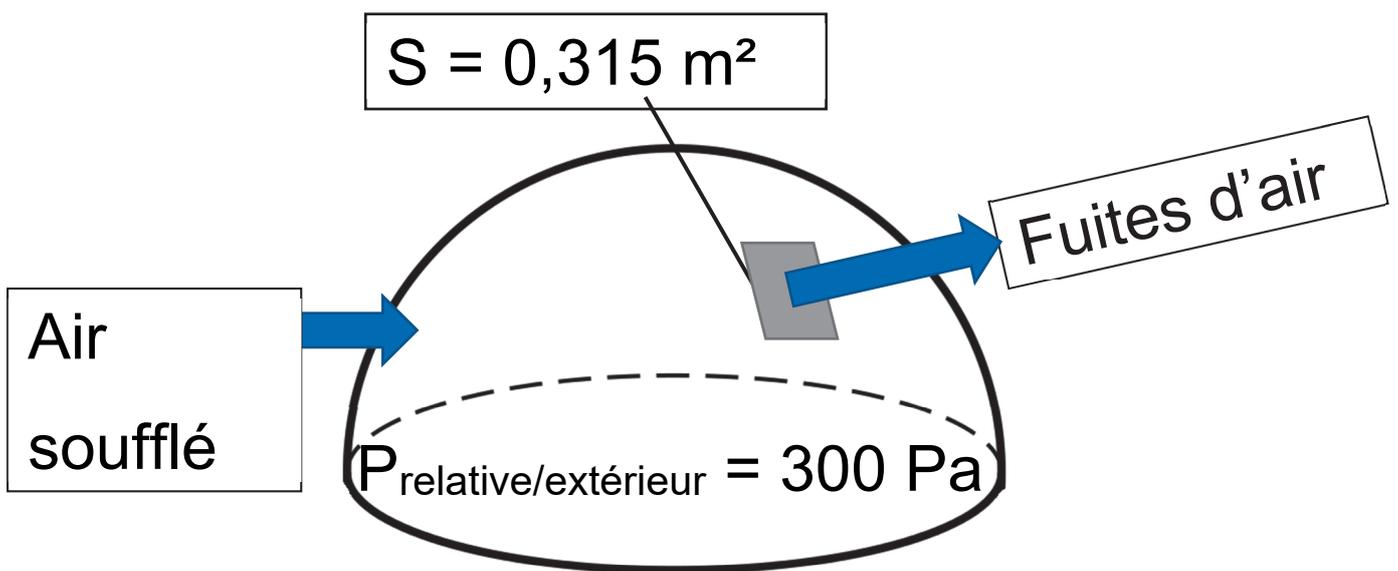
Partie 3 : comment sélectionner les générateurs d'air chaud ?

Il existe sur le dôme des fuites d'air au niveau de :

- la jonction entre la toile du dôme et le sol ;
- la jonction entre les pièces de toile constituant le dôme ;
- les jonctions des différentes portes (sas, sorties de secours).

La somme des fuites d'air équivaut à un « trou » de surface $S = 0,315 \text{ m}^2$ dans le dôme.

Les trois générateurs d'air chaud doivent compenser ces fuites pour garder une pression relative par rapport à l'extérieur de +300 Pa dans le dôme.



$$\bullet V = \sqrt{\frac{2 \times P}{\rho_{\text{air}}}}$$

– V : vitesse d'écoulement de l'air en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

– P : pression relative de l'air à l'intérieur du dôme en Pascal (Pa)

– ρ_{air} : masse volumique de l'air ($1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Question 3.1

Calculer la vitesse de l'air s'échappant par les fuites du dôme.

- $Q_{\text{fuites}} = V \times S$

- Q_{fuites} : débit de l'air en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

- V : vitesse d'écoulement de l'air en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

- S : surface des fuites d'air en m^2

Question 3.2

Calculer le débit d'air s'échappant par la surface S correspondant aux fuites en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Convertir en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ le débit d'air correspondant aux fuites.

Le gonflage du dôme nécessite un débit de $60\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ indépendamment des fuites.

Question 3.3 (DT5)

Choisir le modèle le plus adapté pour les trois générateurs d'air.

Le dôme étant sous pression, toutes les entrées sont conçues pour qu'un minimum d'air

s'échappe grâce à des sas de plusieurs types :

- **portes tambour** dit « sas tournant » dont l'étanchéité est assurée par des brosses ;
- **sas technique** délimité par deux portes de « garage » actionnées en différé et comportant un espace d'attente proportionnel à l'usage qui en est fait (camion, groupe de vélos, etc.).

Question 3.4 (DR3)

Indiquer aux étapes 2, 3 et 4 sur le DR3, le niveau de pression dans le sas technique pour l'entrée d'une personne dans le vélodrome.

Question 3.5

Conclure sur l'importance des sas vis-à-vis du choix des générateurs à air chaud.

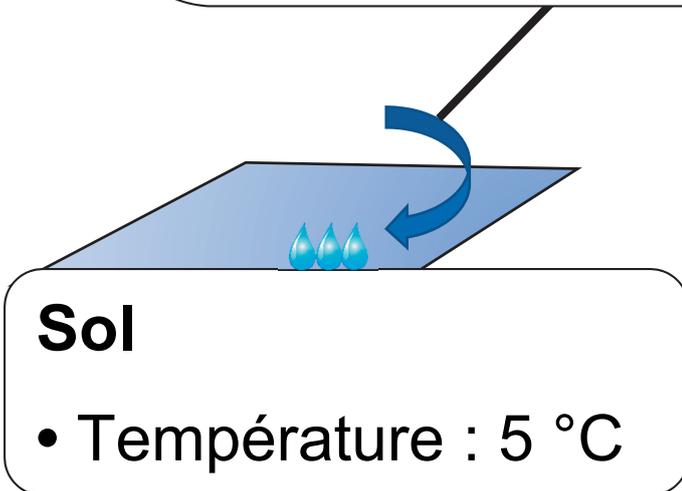
Partie 4 : comment évaluer le risque de condensation sur la piste ?

Lors de la mise en fonctionnement du dôme, de l'eau est apparue sur la piste par effet de condensation (phénomène de rosée).

EXEMPLE

Air intérieur

- Température de l'air : 21 °C
- Humidité relative de l'air : 39 %
- **Température de condensation de l'air : 6,5 °C**



Sol

- Température : 5 °C

Si Température du sol < Température de condensation de l'air

→ Alors des gouttelettes se forment au sol (il y a condensation).

Pour déterminer le risque de condensation sur la piste, six zones ont été définies dans le vélodrome avec pour chacune (voir DT6) :

- 1 sonde de température pour la mesure de l'air ambiant notée T_{air} ;
- 1 sonde pour la mesure de l'humidité relative notée HR ;
- 1 sonde de température pour la mesure de la température sol notée T_{piste} .

Pour les sondes de température, on donne

$$\theta = \frac{R - 100}{0,385}, \text{ avec :}$$

- θ : température mesurée en °C
- R : résistance de la sonde de température Pt100 en Ω

Question 4.1 (DR4)

Calculer les températures du sol θ en complétant le DR4.

Question 4.2 (DT6, DT7, DR4)

Déterminer les températures de condensation manquantes dans le DR4 à partir du DT7.

Indiquer la présence de condensation (OUI ou NON) sur la piste.

Question 4.3

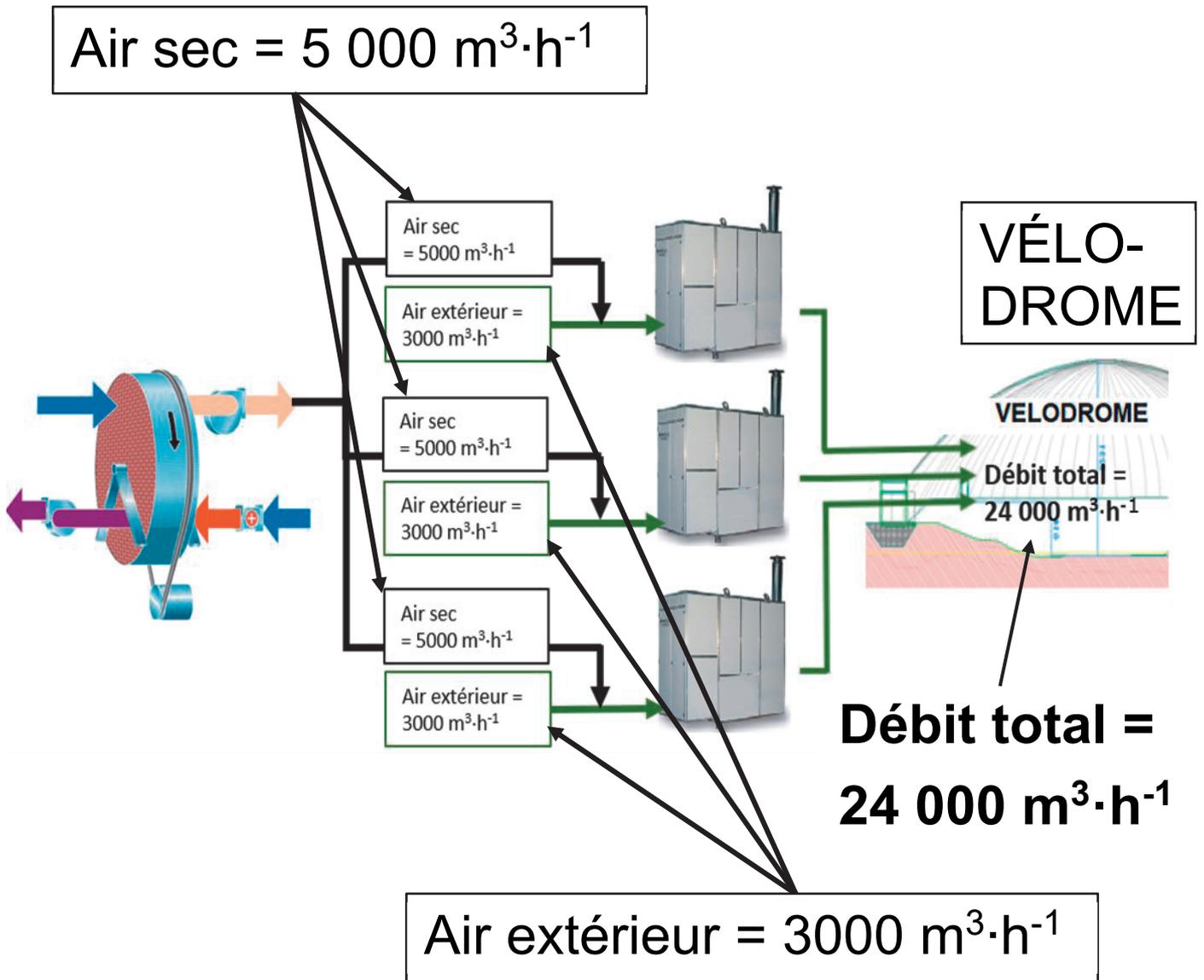
Conclure sur la nécessité d'avoir plusieurs zones de mesures pour évaluer le risque de condensation sur la piste.

Partie 5 : comment éliminer le risque de condensation sur la piste ?

Pour éviter la condensation sur la piste, la solution retenue a été de déshumidifier une partie de l'air soufflé dans le dôme grâce à une roue déshydratante (roue dessicante), dont le principe est exposé dans le DT8.

Cette roue est constituée d'un matériau hygroscopique qui retient l'humidité de l'air.

La roue fournit $15\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ d'air sec répartis équitablement sur les trois générateurs d'air chaud. Avec cette proportion d'air sec, l'air entrant dans le dôme ne pourra pas condenser sur la piste quelles que soient les conditions de températures.



Question 5.1 (DT8, DR5)

Sur le diagramme de blocs internes de la roue déshydratante (DR5), **identifier** les deux flux d'air en repassant sur les traits avec deux couleurs différentes, l'une pour l'air humide et l'autre pour l'air sec.

La roue déshydratante s'active sur le principe de l'algorigramme présenté sur le DR6, en prenant en compte la température minimum du sol et la température minimum de condensation des différentes zones présentes dans le vélodrome.

Une série de mesures est présentée dans le DR6.

Question 5.2 (DR6)

Indiquer sur le DR6 si la roue déshydratante s'active ou non en fonction des différents cas proposés.

L'air contenu dans le vélodrome se renouvelle totalement toutes les 4 h environ.

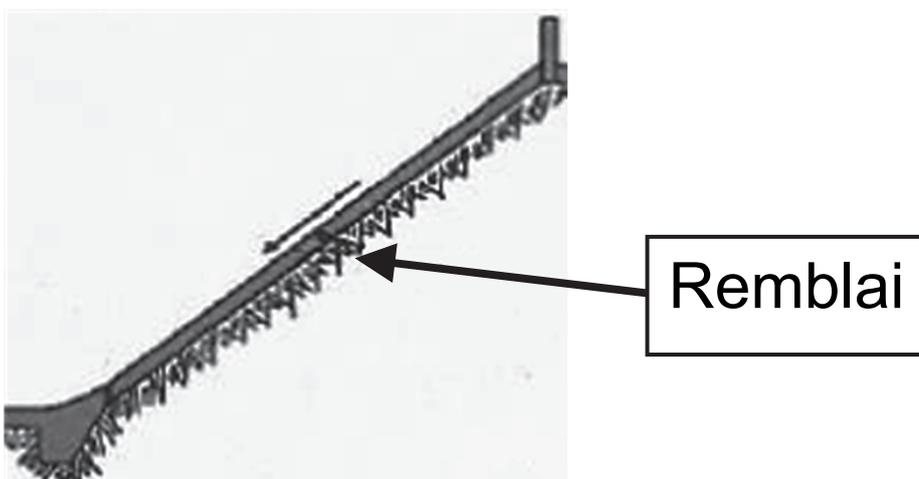
Question 5.3 (DR6)

Conclure sur le choix du constructeur d'avoir ajouté une marge de sécurité de 5 °C pour l'activation de la roue déshydratante.

DT1 : types de pistes en béton - principes, avantages et inconvénients (extraits du guide de conception d'un vélodrome édité par la FFC)

Les pistes en béton sur remblai

Elles sont constituées d'une couche de béton directement coulée sur de la terre compactée (remblai). Une couche plus fine cimentée (chape) est ensuite coulée sur le béton pour constituer la surface de roulement.



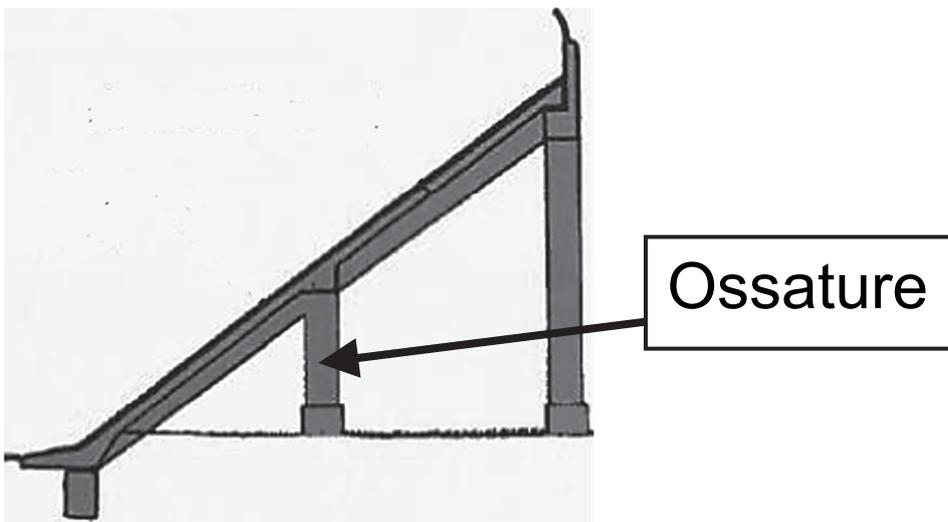
Les pistes sur remblai sont plus fréquentes et permettent une meilleure insertion dans le paysage.

Plus économique, la solution du remblai est cependant rendue complexe par l'opération de compactage de la terre. Mal compacté, le remblai risque de se tasser provoquant fissures et affaissements.



Les pistes en béton sur ossature

Dans ce cas la dalle en béton repose sur une ossature en béton armé. Une couche plus fine cimentée (chape) est ensuite coulée sur le béton pour constituer la surface de roulement.



L'avantage de ce choix réside dans la mise à disposition d'espaces sous l'ossature, espaces qui peuvent alors être utilisés pour les vestiaires, les sanitaires et autres locaux de stockage vélos.

A contrario, l'impact visuel de l'ossature pose la question de son insertion dans son environnement immédiat, qui peut gêner le confort de vie des riverains. De plus ce type de piste nécessite davantage de béton (matériau fort émetteur en gaz à effet de serre).

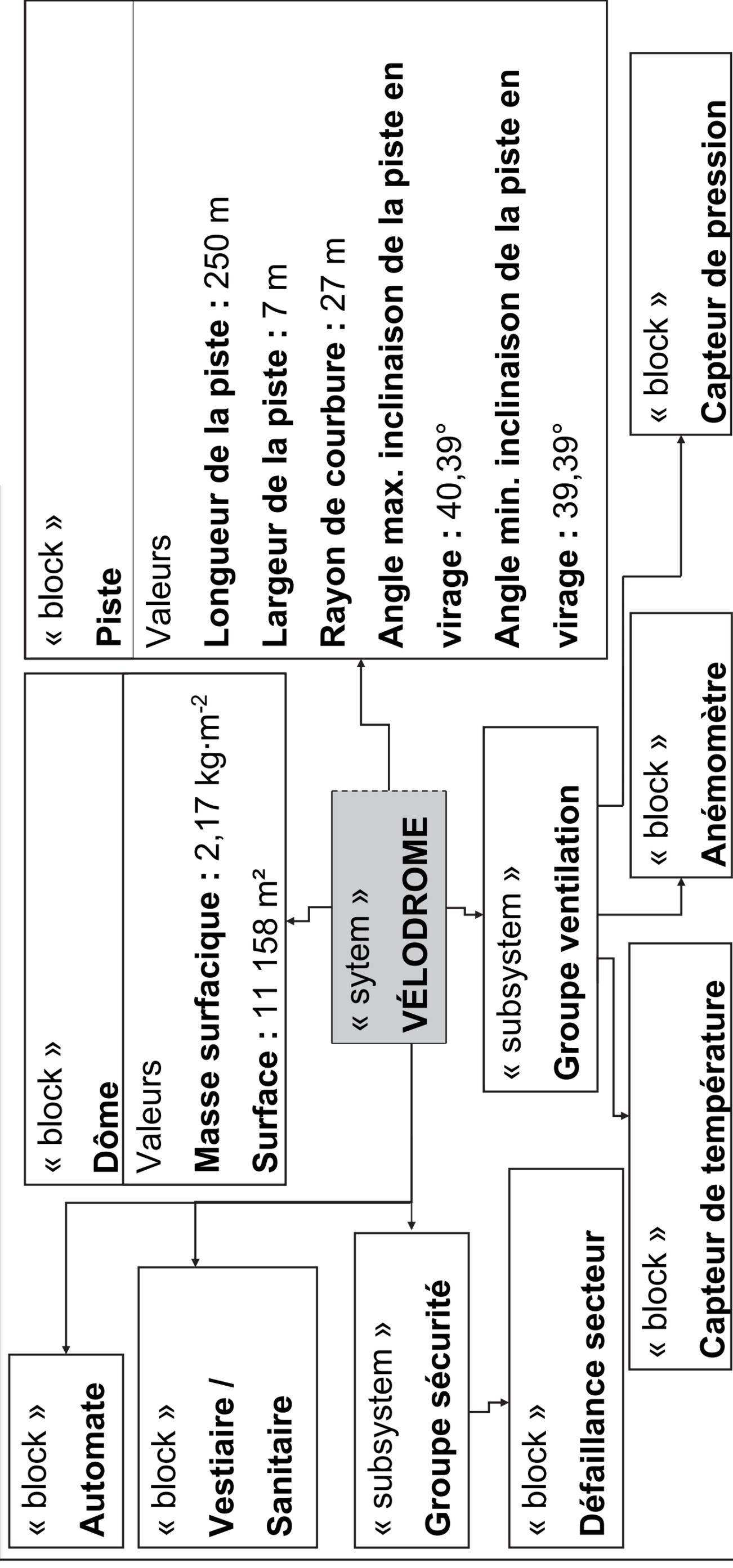


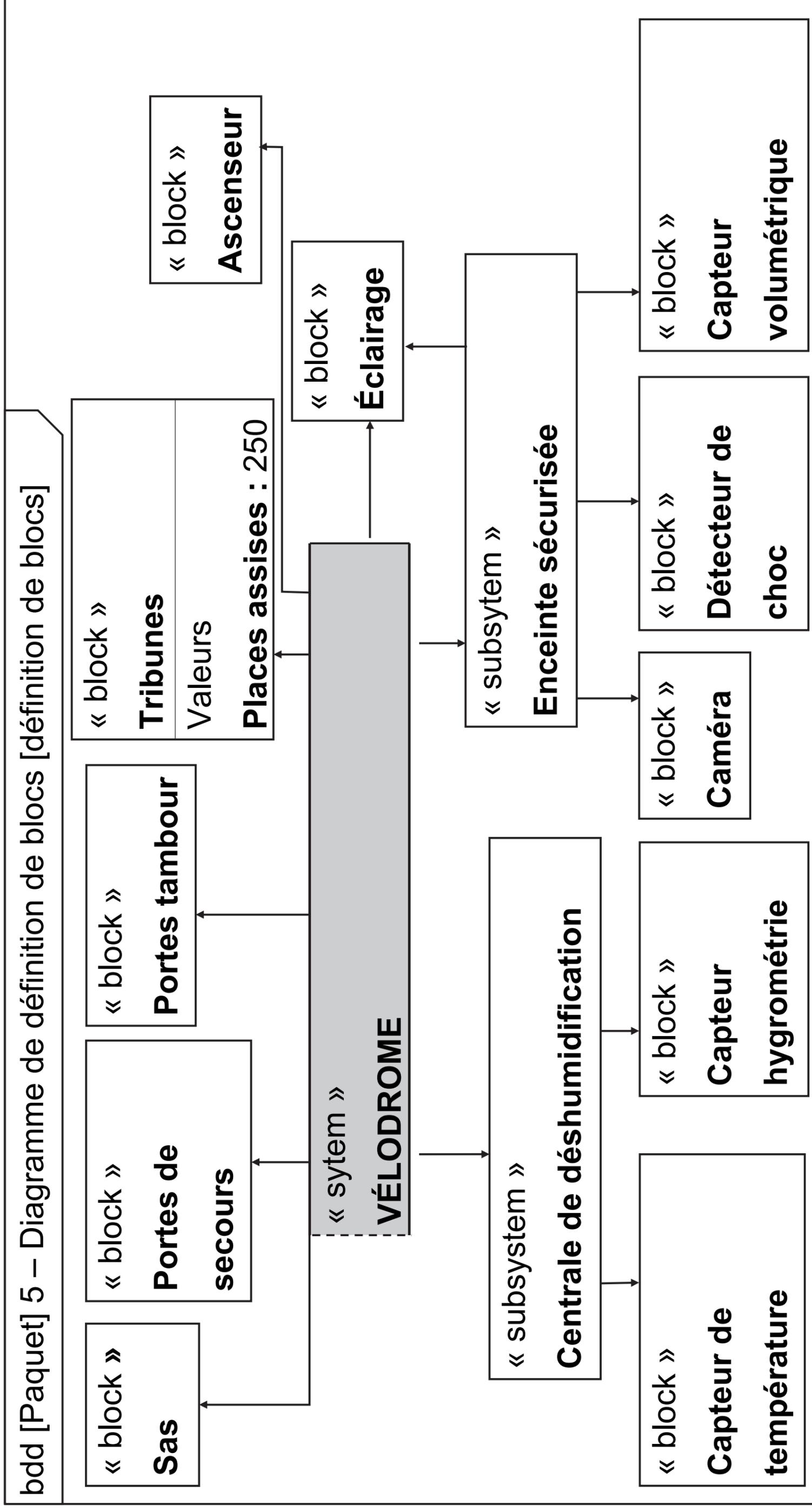
DT2 : diagramme de définition de blocs (BDD)

Note de transcripteur : diagramme adapté sur 2 pages agrandies.

Partie 1/2

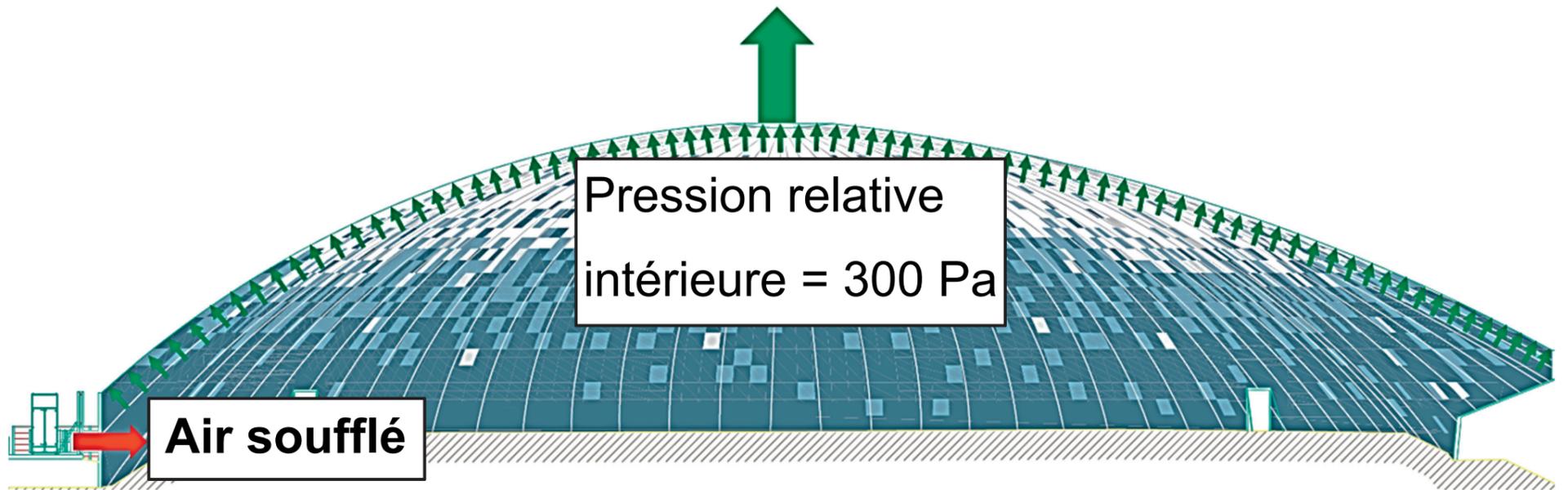
bdd [Paquet] 5 – Diagramme de définition de blocs [définition de blocs]





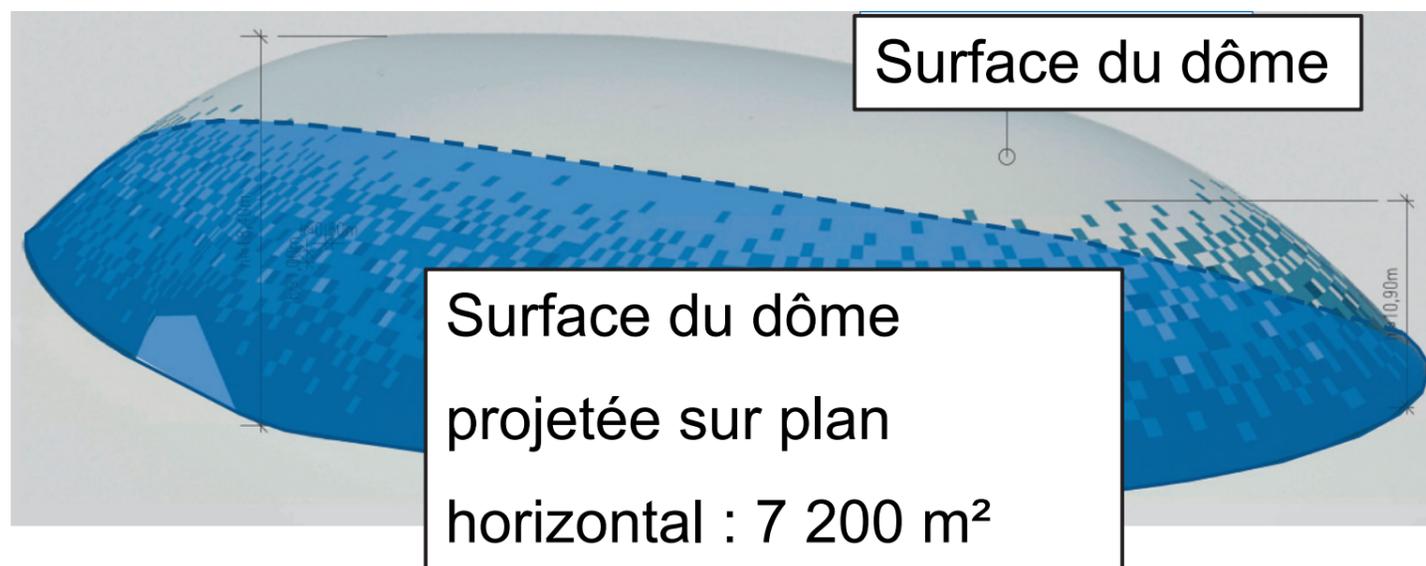
DT3 : résultante des forces de pression

Force résultante = $P \times S_{\text{surface du dôme projetée horizontalement}}$

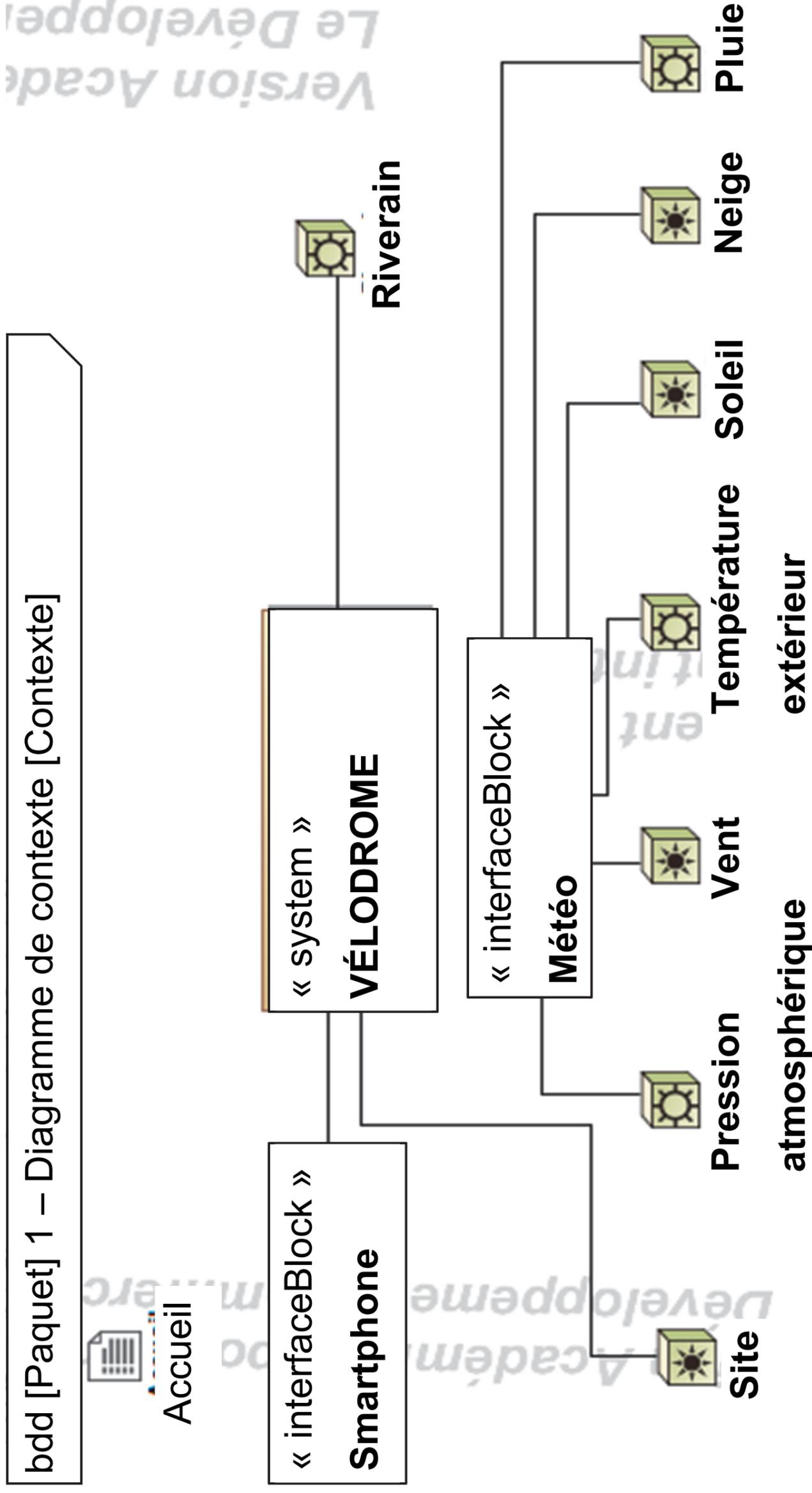


On donne :

- Force résultante = $P \times S_{\text{surface du dôme projetée sur plan horizontal}}$
- Force résultante en Newton (N)
- P : Pression relative intérieure en Pascal (Pa)
- $S_{\text{surface du dôme projetée sur plan horizontal}}$ en m^2



DT4 : diagramme de contexte



DT5 : générateur d'air chaud

Générateur d'air chaud PKE-SPORT



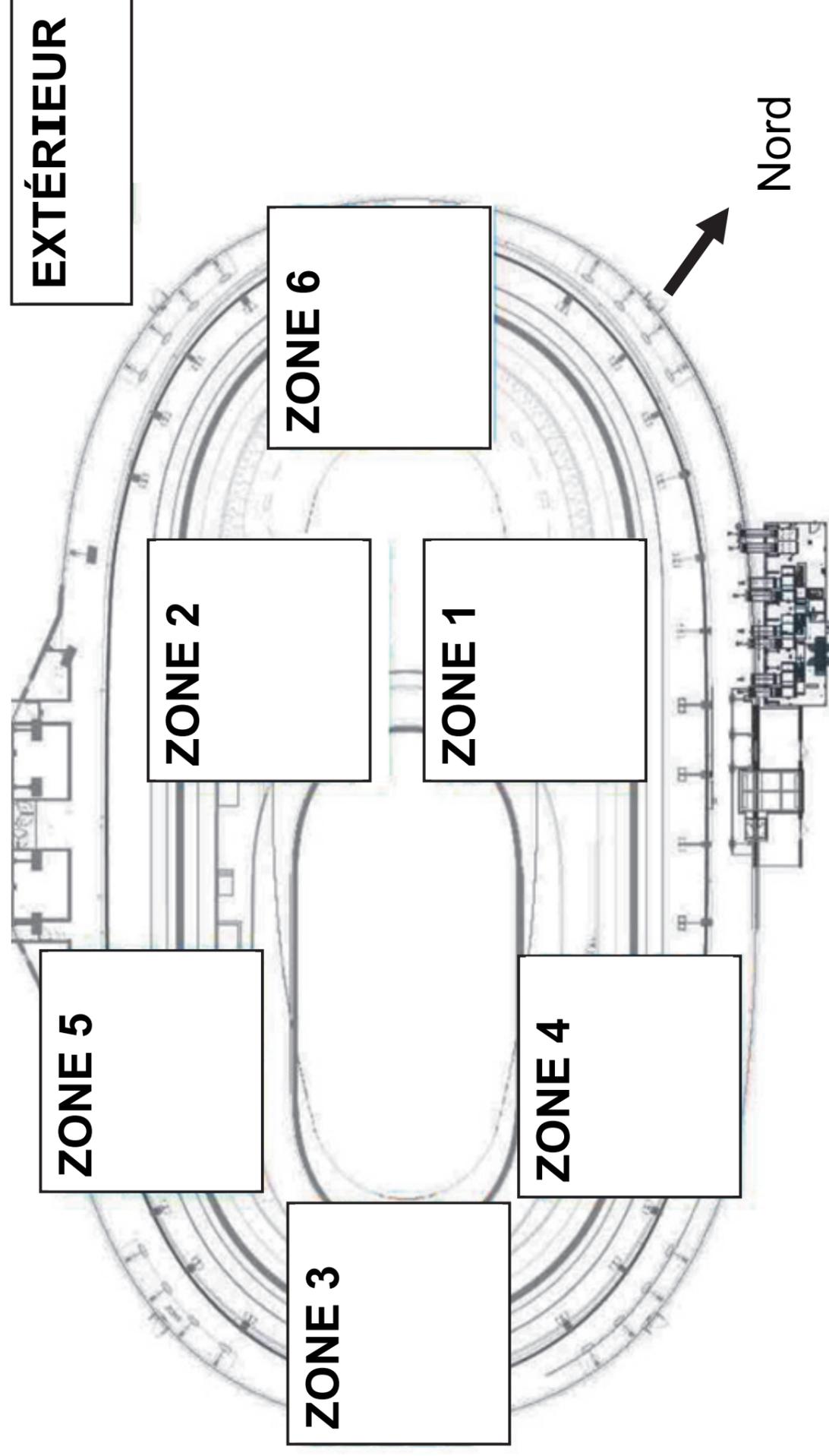
Partie 1/2

| Modèle | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE |
|--------------------------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|---------------------------------|-----|-----|
| Version | 100K | 140K | 190K | 250K | 320K | 420K | 550K | P00 | P00 | P00 |
| Débit d'air | 7 000 | 9 800 | 13 400 | 18 200 | 21 800 | 30 000 | 35 000 | m ³ ·h ⁻¹ | | |
| Pression relative | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | Pa | | |
| Saut de température Min et Max | 10,9 - 46,7 | 11,1 - 44,5 | 10,3 - 42,8 | 9,6 - 42,5 | 9,7 - 45,6 | 7,9 - 43,5 | 7,8 - 48,7 | °K | | |
| Alimentation électrique | 400 triphasé | | | | | | | | | |

| Modèle | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | PKE | |
|--------------------------------------|-------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|--|
| | 100K | 140K | 190K | 250K | 320K | 420K | 550K | | | |
| Fréquence | 50 | | | | | | | | | |
| Puissance utile moteur Max | kW | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 7,5 | 7,5 | 11 | 15 | | |
| Puissance électrique absorbée Max | kW | 3,51 | 4,61 | 4,61 | 8,45 | 8,45 | 12,19 | 16,48 | | |
| Degré de protection | IP | Générateur série PKE = IP24 ; tableau électrique PKE = IP55 | | | | | | | | |
| Température de fonctionnement | °C | de -20°C à + 40°C (contrôler les températures de fonctionnement du brûleur associé) | | | | | | | | |

DT6 : schéma d'implantation des sondes

Note de transcripteur : descriptions des zones, page agrandie suivante.



Zone 1 :

- Température de l'air : 20,2°C
- Humidité relative : 43%

Zone 2 :

- Température de l'air : 21°C
- Humidité relative : 42%

Zone 3 :

- Température de l'air : 20,8°C
- Humidité relative : 42%

Zone 4 :

- Température de l'air : 20,3°C
- Humidité relative : 42%

Zone 5 :

- Température de l'air : 21,6°C
- Humidité relative : 40%

Zone 6 :

Température de l'air : 21°C

Humidité relative : 41%

EXTÉRIEUR :

Température de l'air : 15,1°C

Humidité relative : 43%

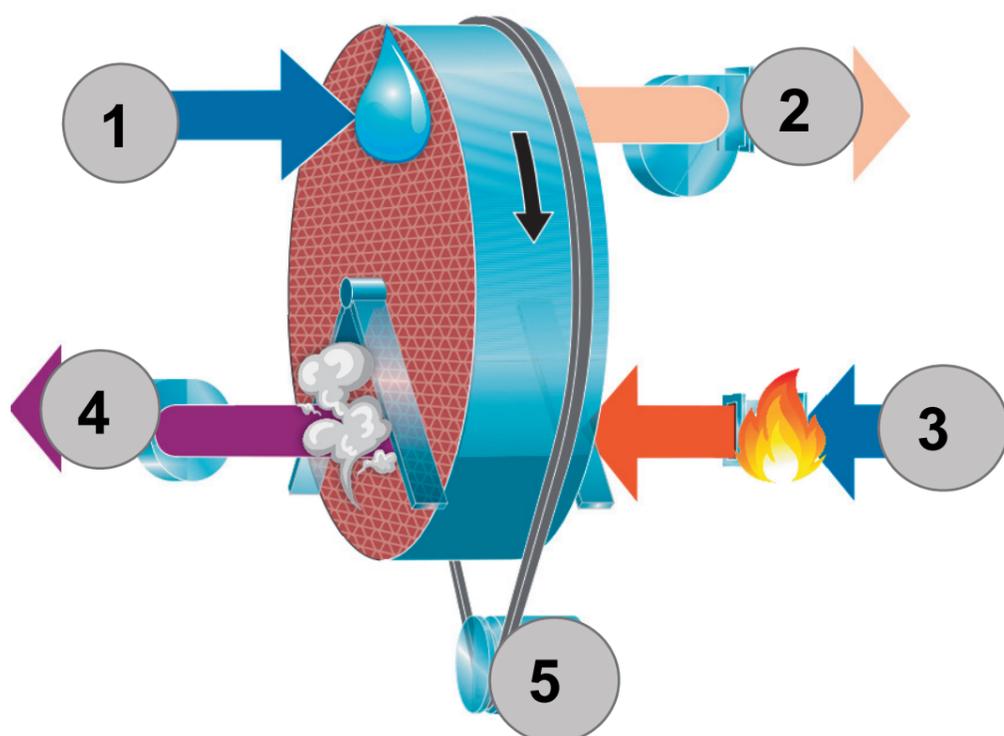
DT7 : température de condensation en fonction de la température et de l'humidité relative de l'air

Exemple : si la température de l'air vaut 20,6 °C

et HR = 38 % alors la température de condensation est 5,8 °C

| Humidité relative de l'air (HR) | 38% | 39% | 40% | 41% | 42% | 43% |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Température de l'air | | | | | | |
| 20 °C | 5,2 | 5,6 | 6,0 | 6,3 | 6,7 | 7,0 |
| 20,2 °C | 5,4 | 5,8 | 6,2 | 6,5 | 6,9 | 7,2 |
| 20,4 °C | 5,6 | 6,0 | 6,3 | 6,7 | 7,0 | 7,4 |
| 20,6 °C | 5,8 | 6,2 | 6,5 | 6,9 | 7,2 | 7,6 |
| 20,8 °C | 6,0 | 6,3 | 6,7 | 7,1 | 7,4 | 7,8 |
| 21 °C | 6,1 | 6,5 | 6,9 | 7,2 | 7,6 | 7,9 |
| 21,2 °C | 6,3 | 6,7 | 7,0 | 7,4 | 7,8 | 8,1 |
| 21,4 °C | 6,5 | 6,9 | 7,2 | 7,6 | 8,0 | 8,3 |
| 21,6 °C | 6,7 | 7,0 | 7,4 | 7,8 | 8,1 | 8,5 |
| 21,8 °C | 6,8 | 7,2 | 7,6 | 8,0 | 8,3 | 8,6 |
| 22 °C | 7,0 | 7,4 | 7,8 | 8,1 | 8,5 | 8,8 |

DT8 : roue déshydratante – principe



Étape 1 : de l'air est pris de l'extérieur, son humidité se dépose sur la roue.

Étape 2 : l'air ressort sec et est envoyé vers le dôme.

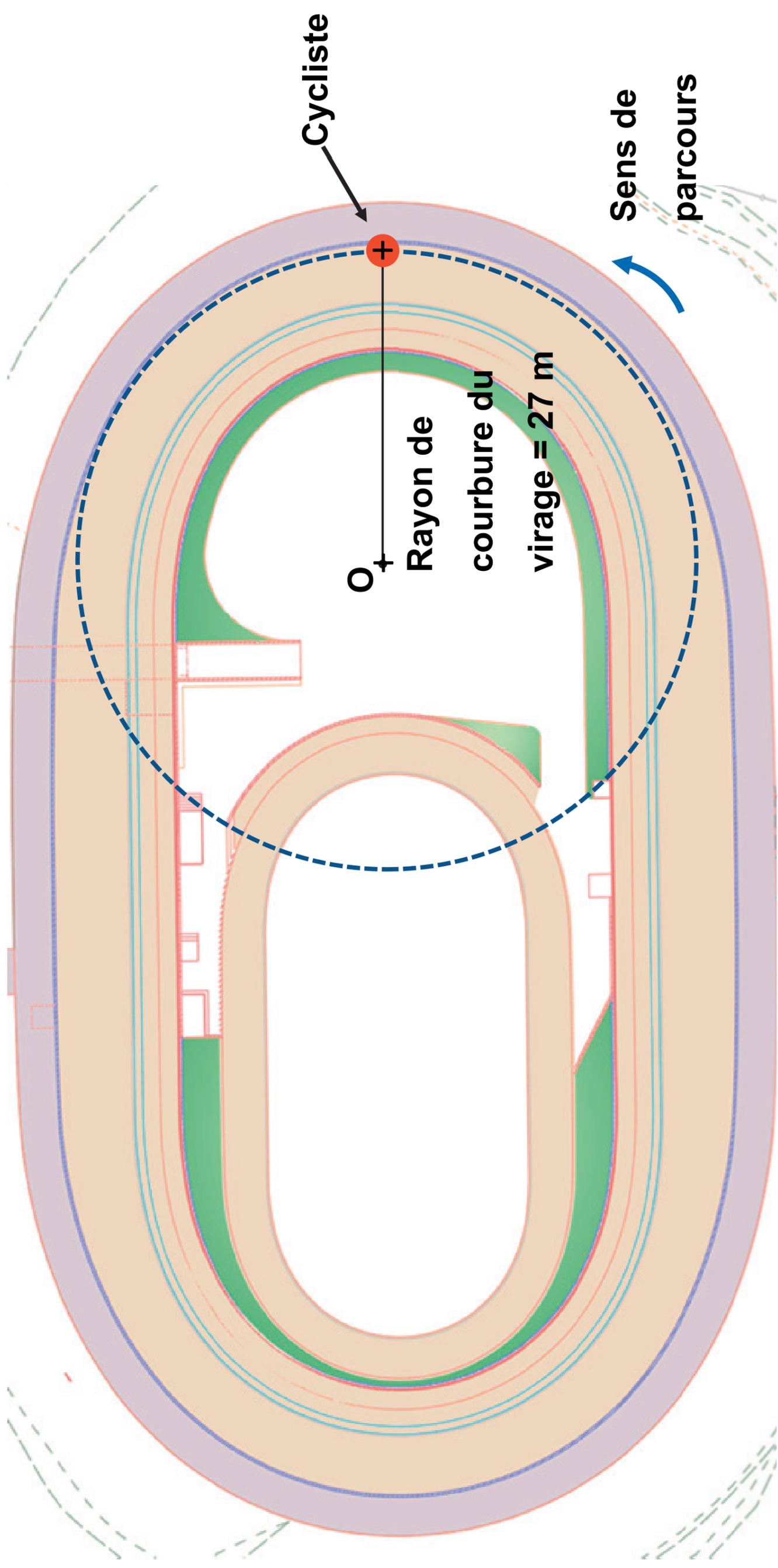
Étape 3 : de l'air est pris de l'extérieur. Cet air est chauffé par un brûleur gaz pour faire évaporer l'humidité de la roue.

Étape 4 : de l'air humide ressort, la roue est sèche.

Un moteur avec une transmission poulie-courroie fait tourner la roue (**étape 5**) : la partie humide de la roue est séchée, le cycle recommence.

Document réponses DR1 : comparatif des types de pistes

| CRITÈRES > | PRIX | MISE EN ŒUVRE | RÉALISATION DE VESTIAIRES /STOCKAGE | INSERTION DANS LE PAYSAGE | BILAN CAR-BONE | TOTAL |
|-----------------------------|------|---------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------------|
| COEFFICIENT | 5 | 2 | 3 | 4 | 3 | 17 |
| PISTE EN BÉTON SUR REMBLAI | 1 | 0 | ..... | ..... | ..... | = 1 x 5 + 0 x 2 + |
| PISTE EN BÉTON SUR OSSATURE | 0 | 1 | ..... | ..... | ..... | = 0 x 5 + 1 x 2 + |



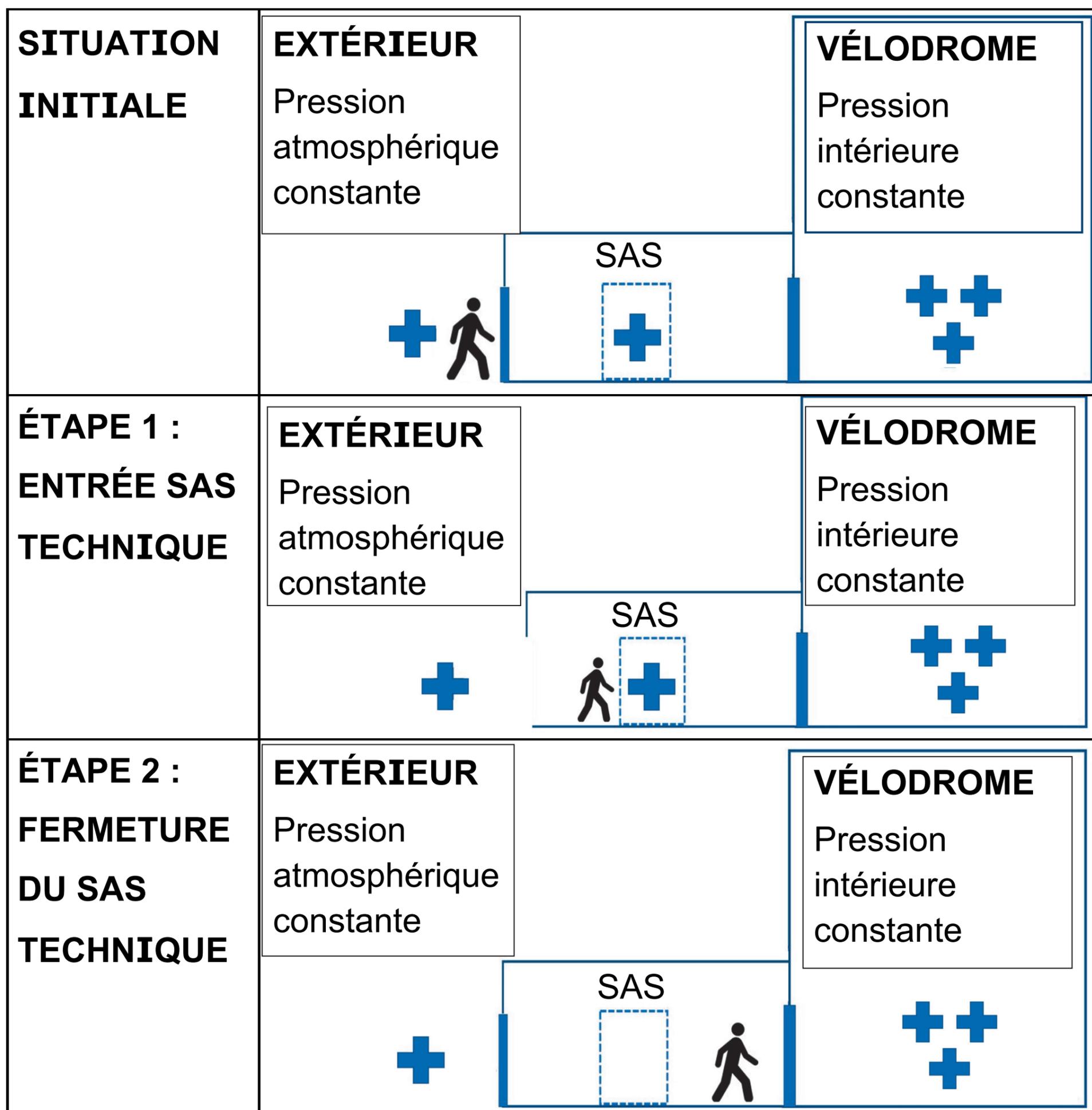
Échelle des vitesses : 1 cm \rightarrow 20 km·h⁻¹

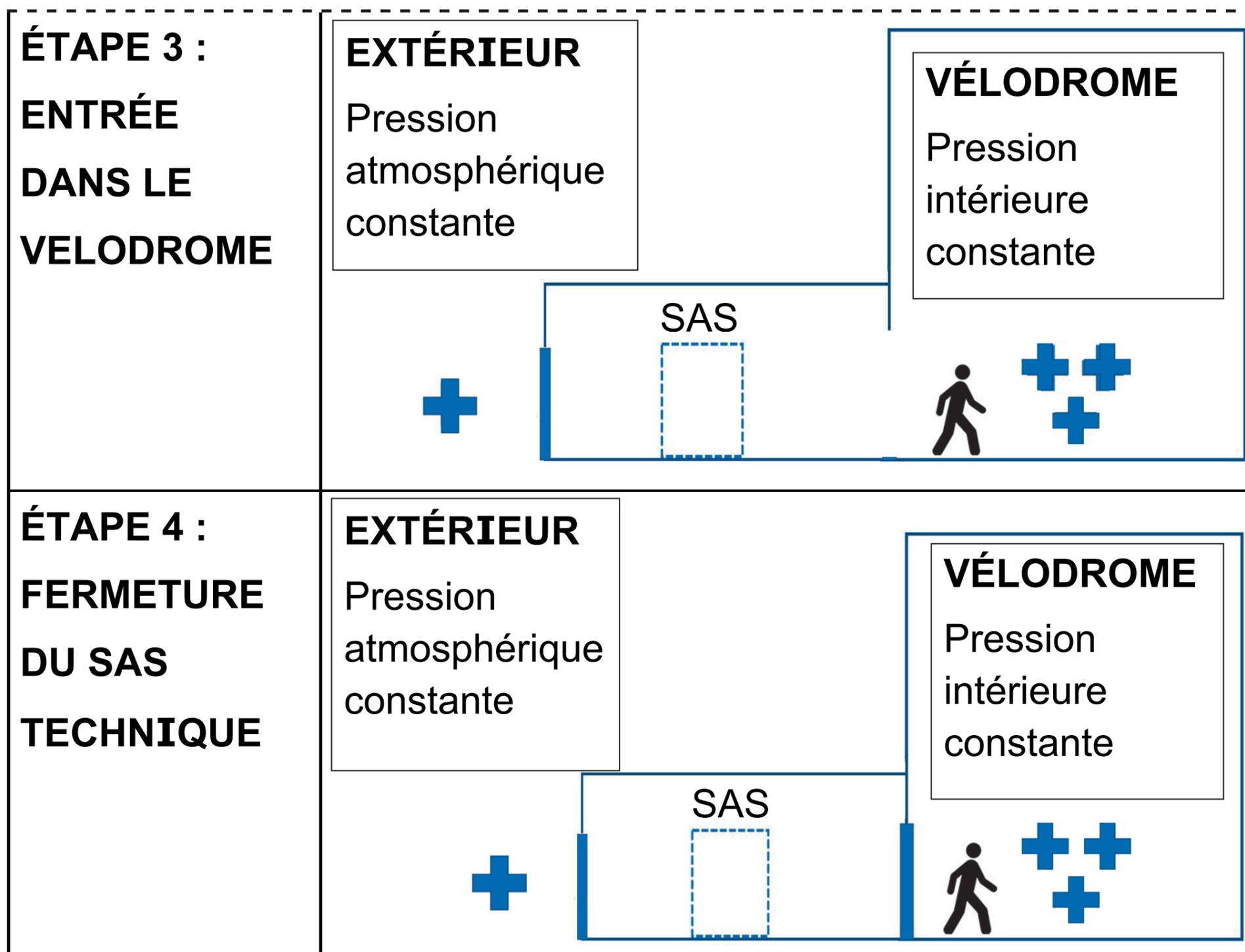
Document réponses DR3 : fonctionnement d'un sas technique

Légende :  Pression extérieure

 Pression intérieure
dôme

Partie 1/2



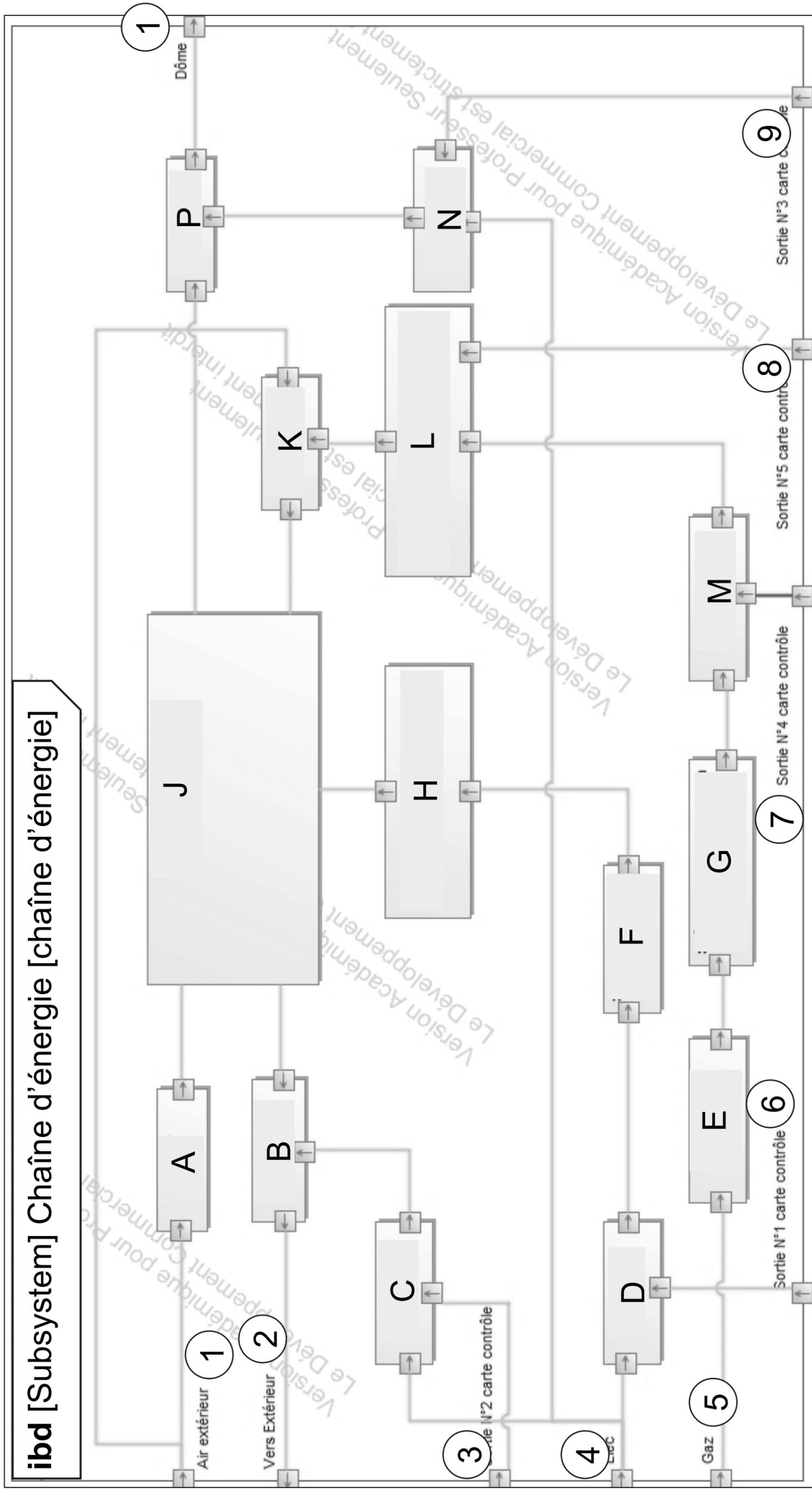


Document réponses DR4 : sondes de température

| | Questions | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 | Zone 4 | Zone 5 | Zone 6 |
|--|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Résistance sol Pt100 en Ω | | 102,7 | 103,1 | 102,7 | 102,6 | 102,7 | 102,6 |
| Température sol en °C | Q4.1 | ..... | ..... | 7,01 | 6,75 | 7,01 | 6,75 |
| Température de condensation en °C | Q4.2 | ..... | ..... | 7,4 | 7 | 7,4 | 7,2 |
| Condensation : OUI ou NON |  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |

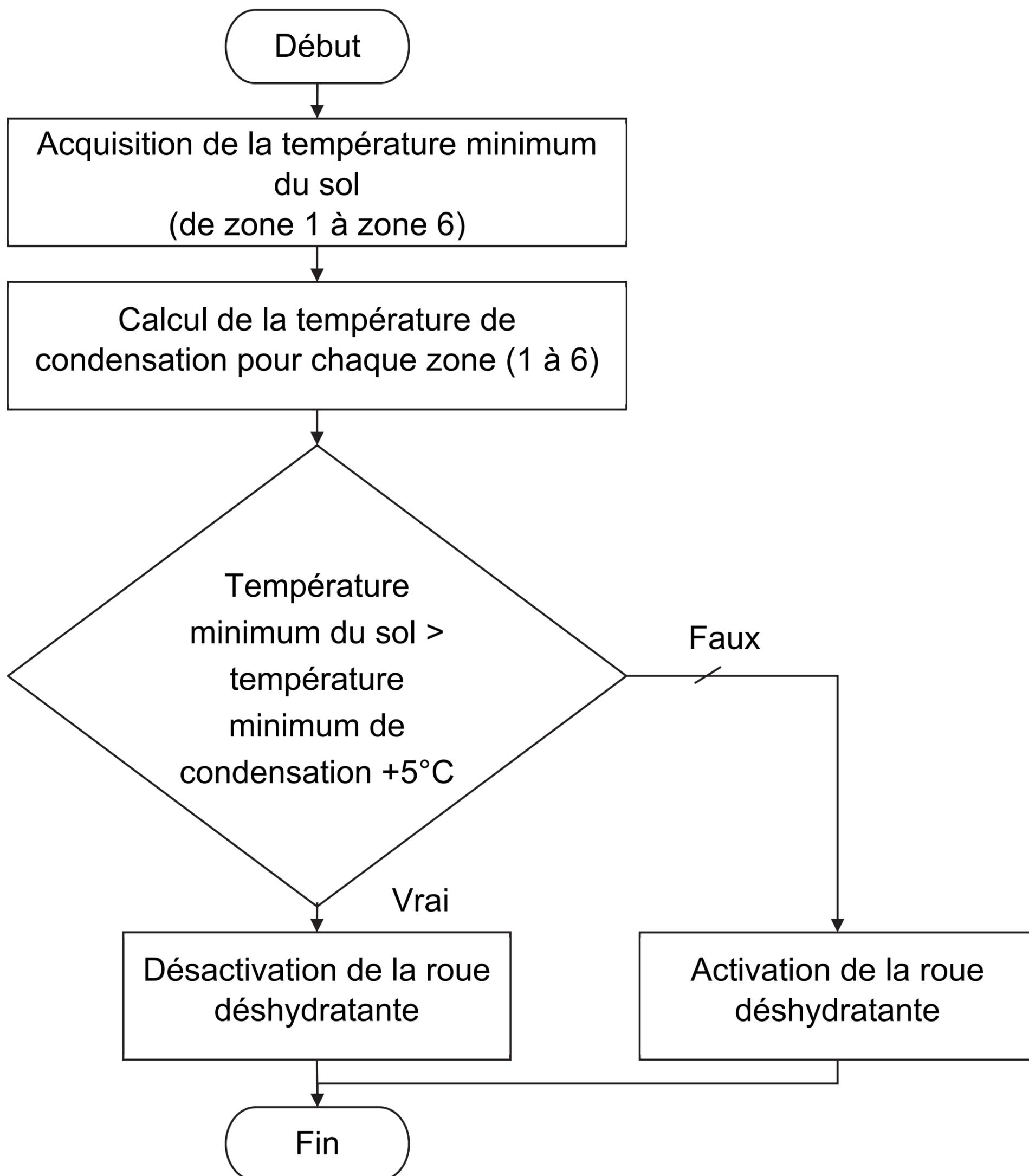
Document réponses DR5 : diagramme de blocs internes de la roue déshydratante

Note de transcripteur : légende des blocs listée page agrandie suivante



| | |
|--------------------------------------|---|
| 1 : Air extérieur | A : Filtre |
| 2 : Vers extérieur | B : Ventilateur1 |
| 3 : Sortie N°2 carte contrôle | C : Variateur1 |
| 4 : Elec | D : Variateur |
| 5 : Gaz | E : Filtre à gaz |
| 6 : Sortie N°1 carte contrôle | F : Moto-réducteur |
| 7 : Sortie N°4 carte contrôle | G : Régulateur de pression |
| 8 : Sortie N°5 carte contrôle | H : Transmission poulie courroie |
| 9 : Sortie N°3 carte contrôle | J : Roue déshydratante |
| 10 : Dôme | K : Réchauffeur |
| | L : Electrovanne régulateur de débit |
| | M : Electrovanne |
| | N : Variateur2 |
| | P : Ventilateur2 |

Document réponses DR6 : algorithme



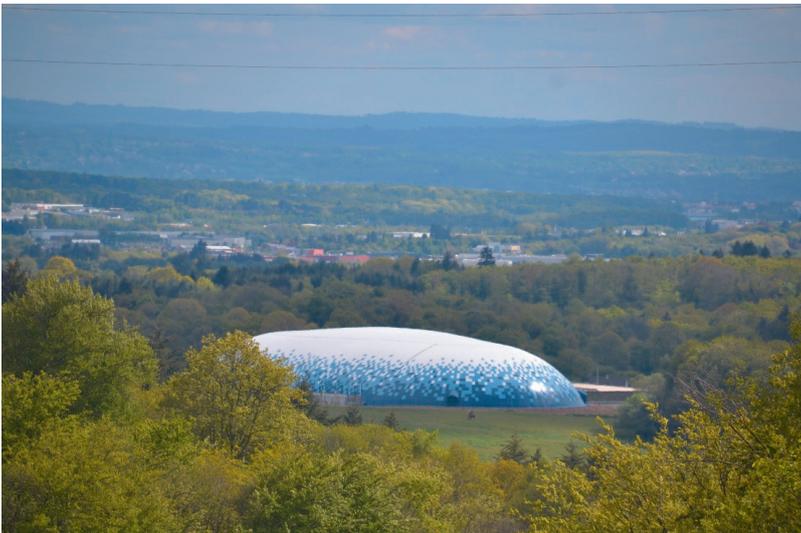
| | Cas 1 | Cas 2 | Cas 3 |
|--|-------|-------|-------|
| Température_mini_sol | 14 °C | 14 °C | 10 °C |
| Température_mini_condensation | 15 °C | 8 °C | 8 °C |
| Activation de la roue déshydratante (OUI / NON) | ..... | ..... | ..... |

PARTIE enseignement spécifique (1,5 h) :

8 points

Architecture et construction

VÉLODROME RAYMOND POULIDOR



Pages agrandies

Présentation de l'étude

et questionnement 56 à 80

Documents techniques DTS1 à DTS4 81 à 89

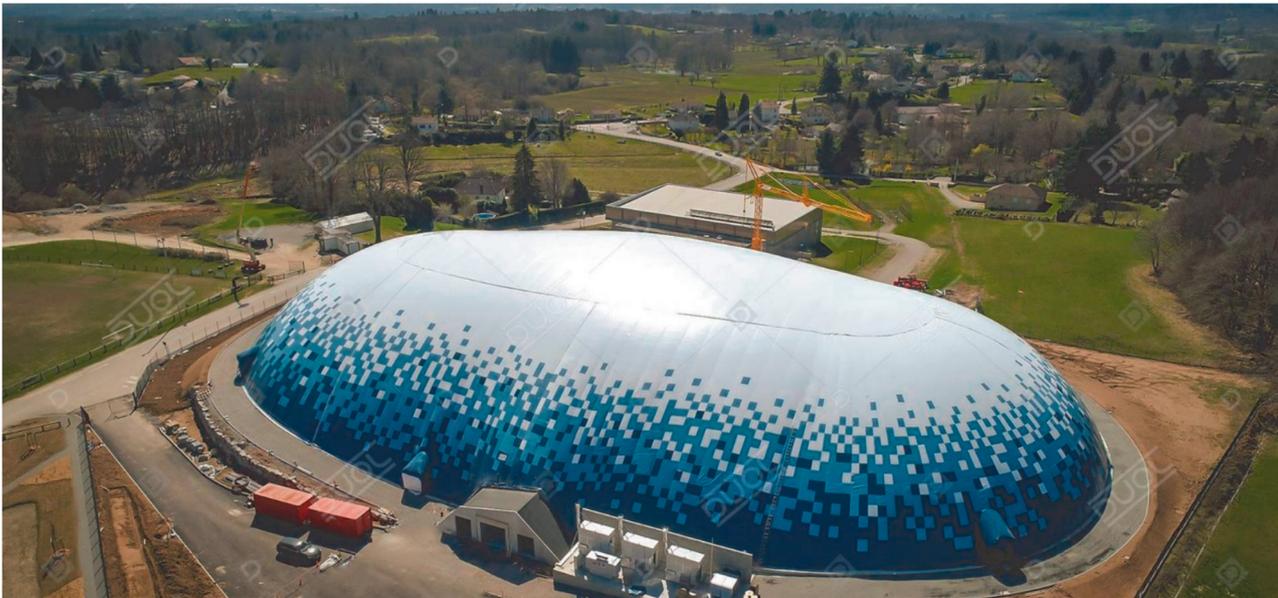
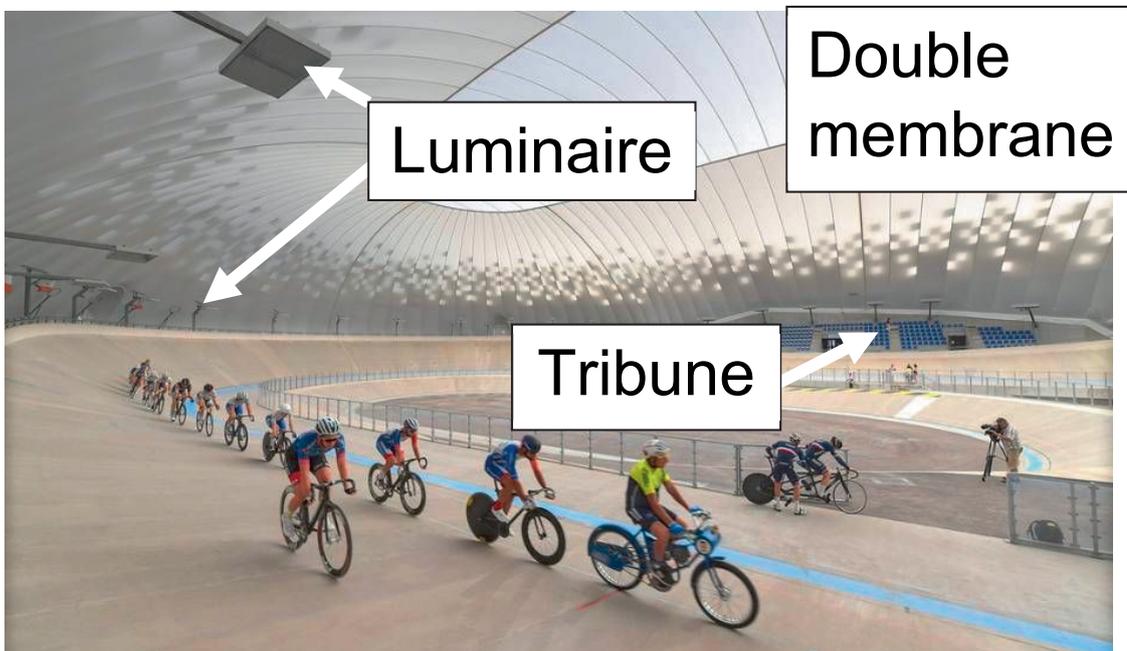
Documents réponses DRS1 à DRS4 90 à 93

Mise en situation

Le vélodrome Raymond Poulidor, situé à Bonnac-la-Côte (87), a été inauguré en 2019. Au départ, c'était un vélodrome extérieur mais l'exploitant a choisi de l'équiper d'une couverture pour permettre une utilisation continue.

La solution technique choisie pour le toit est une structure gonflable appelée « dôme » composée d'une double membrane. Des générateurs d'air chaud injectent de l'air dans le dôme, ce qui crée une surpression intérieure qui maintient la double membrane au-dessus de la piste.

Des tribunes en béton armé, des luminaires et un système de sonorisation ont également été installés à cette occasion.



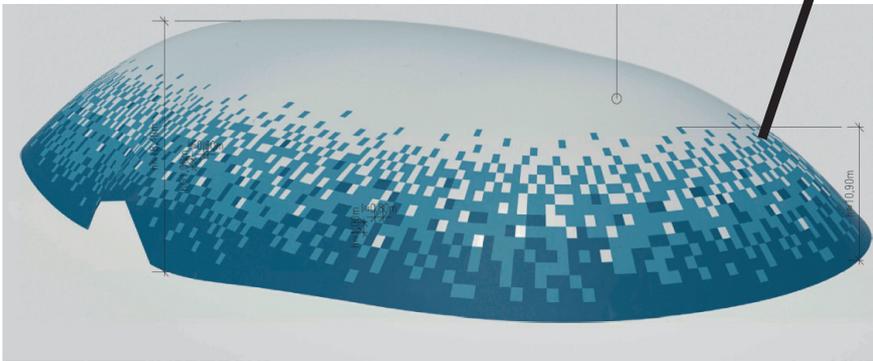
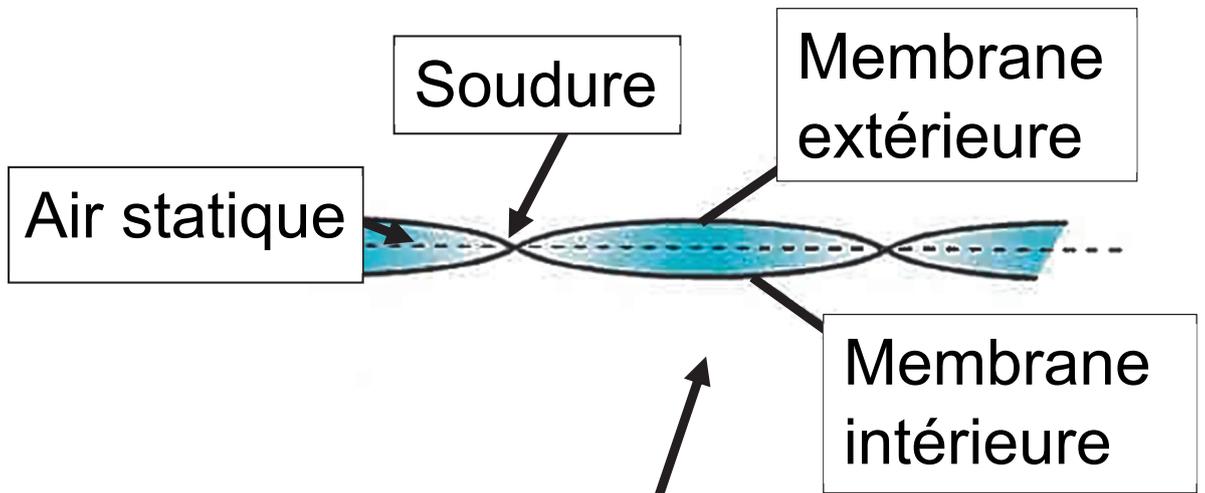
Cette structure gonflable est une solution innovante et économique qui assure la sécurité et le confort des usagers.

Travail demandé

Partie A : la double membrane est-elle une solution performante d'un point de vue thermique et lumineux ?

Le dôme est composé de deux membranes, une extérieure et une intérieure, soudées entre elles et séparées par une couche d'air.

Il est admis, par hypothèse, que cette couche d'air a une épaisseur moyenne de 10 cm et qu'elle est statique (sans mouvement de convection).



La double membrane permet-elle de limiter les déperditions thermiques en hiver ?

Question A.1

Préciser dans quelle condition l'air contenu dans la membrane peut être considéré comme isolant ?

Question A.2

Indiquer le type de déperdition thermique que vont créer les soudures entre les parties de membranes.

La résistance thermique totale d'une paroi se calcule de la façon suivante :

$$- R_{\text{totale paroi}} = R_{\text{si}} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{\text{se}}$$

- R_{si} (Résistance superficielle intérieure) =

$$0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

- R_{se} (Résistance superficielle extérieure) =

$$0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Question A.3 (DTS1)

Calculer la résistance thermique totale de la membrane double.

On souhaite comparer la résistance thermique de la membrane double installée à celle d'une membrane simple.

Question A.4 (DTS1)

Calculer la résistance thermique totale dans le cas d'une membrane simple (l'intérieur et l'extérieur du dôme séparés par la seule membrane extérieure).

Question A.5

Conclure sur l'intérêt d'une membrane double par rapport à une membrane simple concernant les déperditions thermiques du dôme.

La double membrane permet-elle d'assurer un éclairage naturel suffisant pour les cyclistes ?

La transmission lumineuse (TL) d'une paroi correspond à la proportion de flux lumineux transmis par cette paroi.

$$TL (\%) = \frac{\text{Flux lumineux transmis (lumen)}}{\text{Flux lumineux incident (lumen)}}$$

Question A.6 (DTS1, DRS1)

Compléter sur le DRS1 les valeurs de transmissions lumineuses TL et de flux lumineux Φ . **Calculer** le coefficient de transmission lumineuse total TL_{total} de la double membrane en %.

L'éclairement horizontal intérieur en lux dû à la lumière du jour à l'intérieur du dôme peut, en première approximation, se calculer avec la formule suivante :

- $E_{\text{intérieur}} = E_{\text{extérieur}} \times TL_{\text{total}}$

- $E_{\text{extérieur}} = 75\,000$ lux par temps ensoleillé

En entraînement, l'éclairement horizontal intérieur exigé dans le vélodrome est de 1000 lux.

Question A.7

En considérant $TL_{\text{total}} = 2\%$, **conclure** sur la capacité de la double membrane à laisser passer assez de lumière du jour lors d'un entraînement, par temps ensoleillé.

Partie B : la puissance thermique des générateurs d'air chaud est-elle suffisante ?

Le maître d'ouvrage souhaite, lors des compétitions, maintenir une température intérieure de 10°C en soufflant de l'air chaud grâce aux générateurs alimentés au gaz.

Cette température intérieure particulièrement basse permet à l'ouvrage de ne pas être soumis à la RT2012 (réglementation thermique en vigueur lors de la construction).

Question B.1 (DTS2, DRS2)

Relever la température extérieure de référence en hiver à Bonnac-La-Côte (altitude 430 m) sur le DTS2.

Calculer ΔT (écart entre la température intérieure et la température extérieure de référence en hiver).

Reporter ΔT dans la case correspondante du DRS2.

Le débit d'air extérieur soufflé dans le dôme est $Q_v = 24\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ soit $Q_v = 6,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Question B.2

En sachant que la masse volumique de l'air $\rho_{\text{air}} = 1,292 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, **convertir** le débit Q_v en $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ (on notera ce débit Q_m).

Les déperditions thermiques liées à l'air neuf extérieur se calculent de la façon suivante :

- $D_{\text{air neuf}} (\text{Watts}) = Q_m \times C_p \times \Delta T$
 - Q_m : débit en $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
 - C_p : capacité thermique massique de l'air ($1004 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)
 - ΔT : écart entre la température intérieure et la température extérieure de référence en hiver en $^{\circ}\text{C}$.

Question B.3

Calculer les déperditions thermiques liées à l'apport d'air neuf extérieur $D_{\text{air neuf}}$.

Question B.4 (DRS2)

Calculer les déperditions totales du dôme en complétant le DRS2.

Il y a trois générateurs d'air chaud de modèle PKE140 installés dans le vélodrome.

Question B.5 (DTS3)

Conclure sur le choix de la puissance thermique utile maximale du générateur d'air chaud indiquée dans le DTS3.

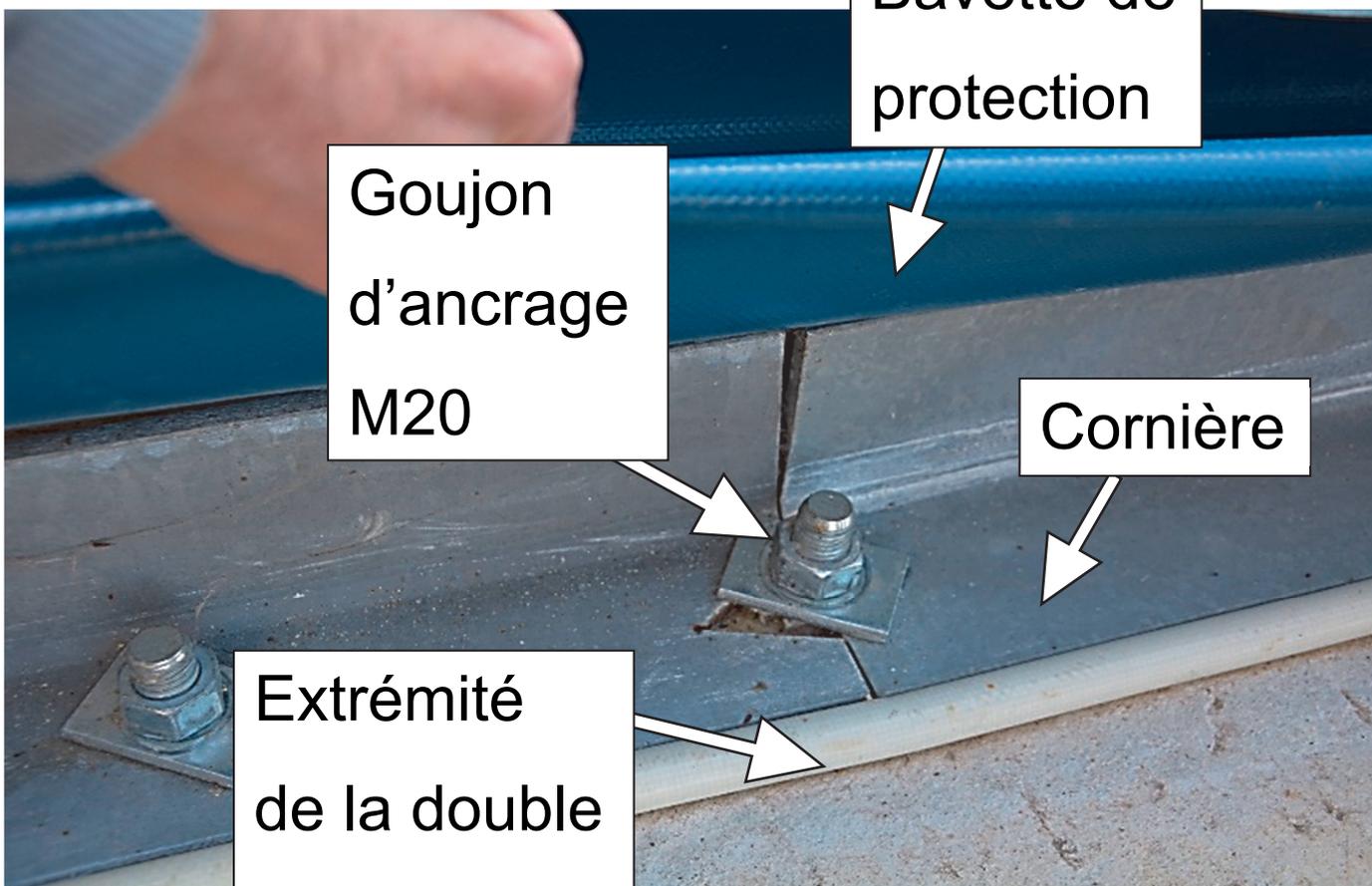
Partie C : comment maintenir la double membrane en toute sécurité ?

La double membrane tient en l'air grâce à une pression intérieure de 300 Pa. Pour la retenir au sol, une longrine en béton armé a été construite tout autour du vélodrome.

La double membrane est bloquée sous des cornières, elles-mêmes retenues par des goujons M20 de diamètre 20 mm ancrés dans la longrine.



Longrine



Bavette de protection

Goujon d'ancrage M20

Cornière

Extrémité de la double membrane

Le bureau d'études structure a déterminé les composantes de la force maximale \vec{F} appliquée sur un goujon d'ancrage au point A (DRS3) :

$$\vec{F} = F_c \cdot \vec{x} + F_t \cdot \vec{y} = -13,4 \text{ kN} \cdot \vec{x} + 35,7 \text{ kN} \cdot \vec{y}$$

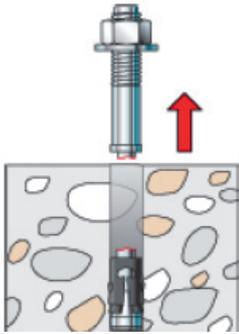
Question C.1 (DRS3)

Tracer les composantes du vecteur \vec{F} à l'échelle sur le DRS3 (faire attention au repère indiqué).

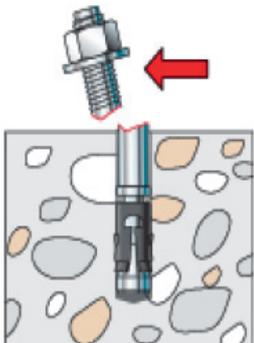
Tracer le vecteur \vec{F} à l'échelle sur le DRS3.

Pour dimensionner le goujon, il est nécessaire de vérifier les 3 cas suivants.

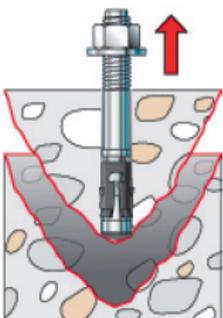
Cas A : Rupture acier en traction



Cas B : Rupture acier



Cas C : Rupture par cône de béton en traction



Question C.2

Pour le cas B, **indiquer** la sollicitation considérée.

Déterminer la valeur de la composante du vecteur \vec{F} à prendre en compte.

Question C.3

Pour le cas C, **indiquer** au moins un paramètre qui influe sur ce type de rupture.

Déterminer la valeur de la composante du vecteur \vec{F} à prendre en compte.

Caractéristiques de différentes tailles de goujons :

| Taille | M8 | M10 | M12 | M16 | M20 | M24 |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| A : Aire de la section droite brute de la tige | 0,503 cm ² | 0,785 cm ² | 1,13 cm ² | 2,01 cm ² | 3,14 cm ² | 4,52 cm ² |
| As : Aire de la section droite de la partie filetée (fond de filet) | 0,366 cm ² | 0,580 cm ² | 0,843 cm ² | 1,157 cm ² | 2,46 cm ² | 3,53 cm ² |
| fu : Contrainte de rupture en traction | 500 MPa | | | | | |
| fy : Limite élastique | 400 MPa | | | | | |

Le cas A (rupture de l'acier en traction) est considéré comme étant le plus défavorable des trois.

La force maximale $F_{t,max}$ admissible à la traction par goujon se calcule par :

$$- F_{t,max} = \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_s}{\gamma} ; \text{ pour ce cas,}$$

le coefficient de sécurité $\gamma = 1,5$.

Question C.4

Calculer $F_{t,max}$ en N pour un goujon M20.

Vérifier que le goujon d'ancrage résiste en traction (cas A) en comparant $F_{t,max}$ avec la valeur de la composante de traction F_t du vecteur \vec{F} .

Question C.5

Conclure sur le choix du goujon M20 pour retenir la double membrane.

Partie D : les commentaires du speaker du vélodrome sont-ils compréhensibles par le public ?

À l'occasion de la création du dôme, un système de sonorisation permettant à un speaker d'animer les compétitions est installé dans le vélodrome.

L'étude menée doit permettre de savoir si la réverbération dans le dôme n'est pas gênante.

Par simplification les calculs suivants se feront pour la bande d'octave 250 Hz correspondant à la fréquence moyenne de la voix humaine.

On calcule l'aire d'absorption équivalente avec la formule suivante :

$$\bullet A = \sum S_i \times \alpha_i$$

- i représente chaque matériau intérieur apparent dans le vélodrome ;
- A : aire d'absorption équivalente en m^2 ;
- S : surface de l'élément considéré ;
- α : coefficient d'absorption.

Question D.1 (DTS4, DRS4)

Calculer l'aire d'absorption équivalente (A) du dôme sur le DRS4.

D'après l'arrêté du 20 Avril 2017, l'aire d'absorption équivalente d'un ERP doit représenter au moins 25% de la surface au sol des locaux pouvant accueillir du public.

La surface au sol du vélodrome est de 7 200 m².

Question D.2

Conclure sur le respect de l'exigence de l'aire d'absorption équivalente d'après l'arrêté du 20 Avril 2017.

On considère que pour la parole, le temps de réverbération ne doit pas être trop long ($T_{\text{exigé}} < 1,3 \text{ s}$) pour éviter un effet de brouillage.

On calcule le temps de réverbération $Tr_{250 \text{ Hz}}$ par :

$$\bullet Tr_{250 \text{ Hz}} = \frac{0,16 \cdot V}{A}$$

– Tr : Temps de réverbération en secondes

– V : Volume du vélodrome ($97\,520 \text{ m}^3$)

– A : Aire d'absorption équivalente en m^2 .

On admet $A = 8\,300 \text{ m}^2$.

Question D.3

Calculer le temps de réverbération du vélodrome.

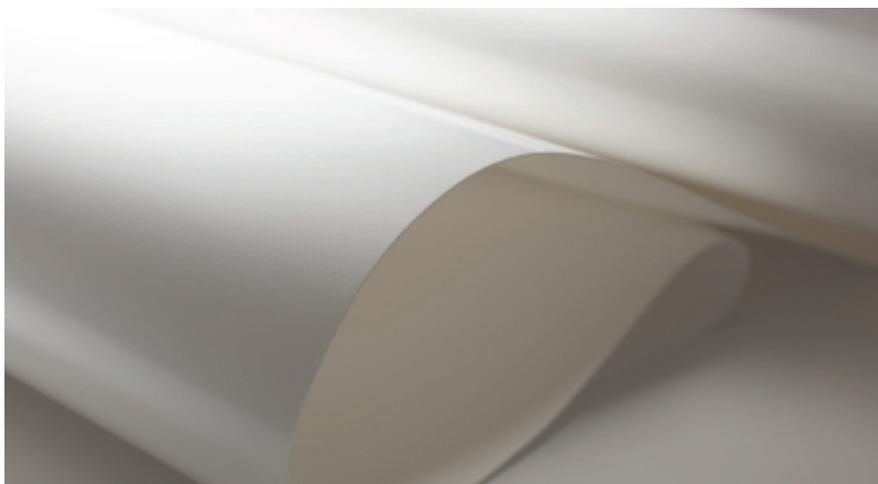
Question D.4 (DTS4, DRS3)

Conclure sur l'intelligibilité du speaker.

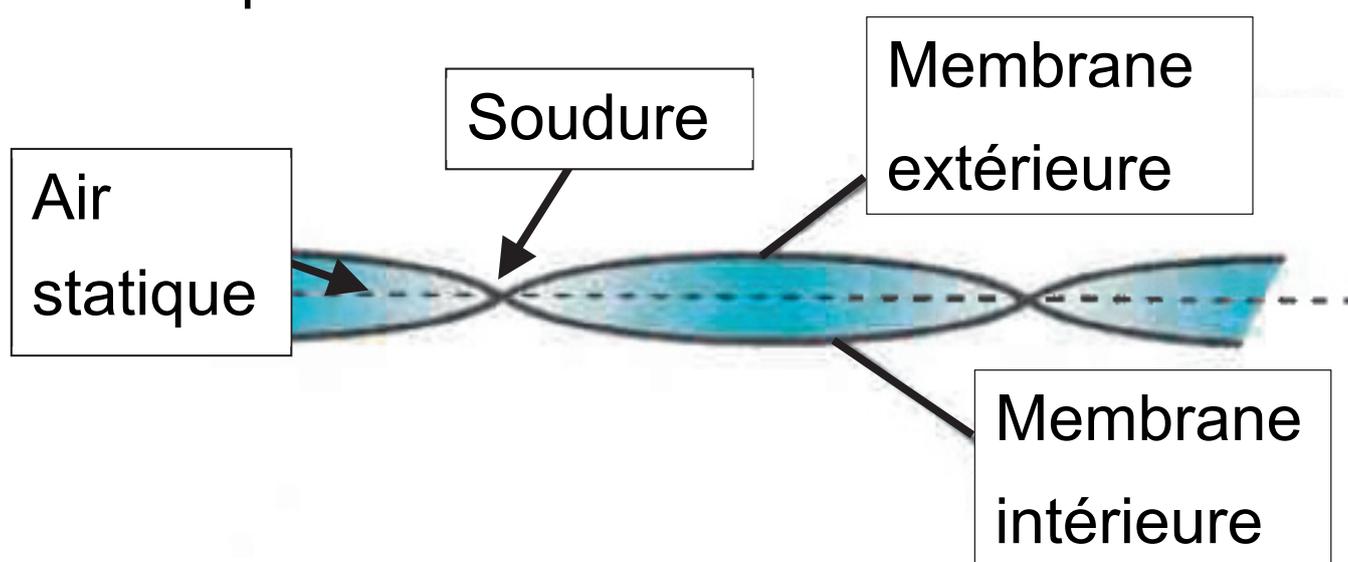
Indiquer un revêtement du dôme avec une grande surface que l'on pourrait changer.

Proposer et **justifier** un exemple de revêtement de remplacement pertinent.

Document technique DTS1 : caractéristiques techniques de la membrane double



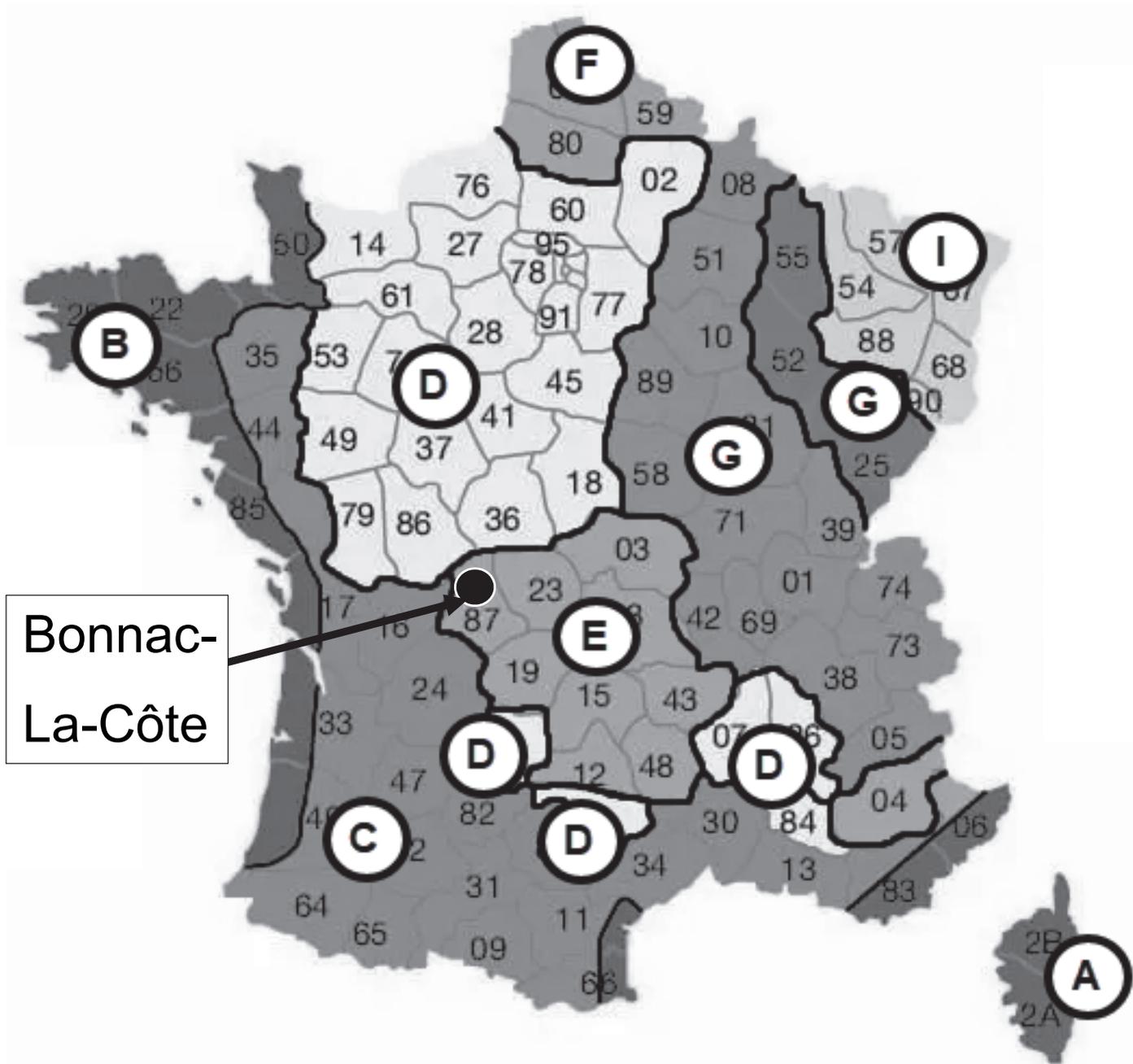
Les deux membranes extérieures et intérieures sont constituées d'un tissu en fibres de polyester renforcé par un enduit PVC.



| | Membrane extérieure | Membrane intérieure |
|------------------------------------|---|--------------------------------|
| Traitement anti-UV | OUI | NON |
| Épaisseur | 1 mm | |
| Conductivité | 0,16 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹ | |
| Résistance au froid | - 40°C | - 45°C |
| Résistance à la chaleur | + 70°C | + 70°C |
| Transmission lumineuse | 4,16 % | 49 % |

| | |
|-----------------------------|--|
| | Air statique entre les deux membranes |
| Conductivité | 0,024 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹ |
| Épaisseur considérée | 10 cm |

Document technique DTS2 : températures extérieures de base en France



Partie 1/2

| Zone | | | | | | | | | |
|--------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Altitude | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 0 à 200m | - 2 | - 4 | - 5 | - 7 | - 8 | - 9 | - 10 | - 12 | - 15 |
| 201 à 400m | - 4 | - 5 | - 6 | - 8 | - 9 | - 10 | - 11 | - 13 | - 15 |
| 401 à 600m | - 6 | - 6 | - 7 | - 9 | - 11 | - 11 | - 13 | - 15 | - 19 |
| 601 à 800m | - 8 | - 7 | - 8 | - 11 | - 13 | - 12 | - 14 | - 17 | - 21 |
| 801 à 1000m | - 10 | - 8 | - 9 | - 13 | - 15 | - 13 | - 17 | - 19 | - 23 |
| 1001 à 1200m | - 12 | - 9 | - 10 | - 14 | - 17 | | - 19 | - 21 | - 24 |

Partie 2/2

| | | Zone | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| Altitude | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |
| 1201 à 1400m | - 14 | - 10 | - 11 | - 15 | - 19 | | - 21 | - 23 | - 25 | |
| 1401 à 1600m | - 16 | | - 12 | | - 21 | | - 23 | - 24 | | |
| 1601 à 1800m | - 18 | | - 13 | | - 23 | | - 24 | | | |
| 1801 à 2000m | - 20 | | - 14 | | - 25 | | - 25 | | | |
| 2001 à 2200m | | | - 15 | | - 27 | | - 29 | | | |

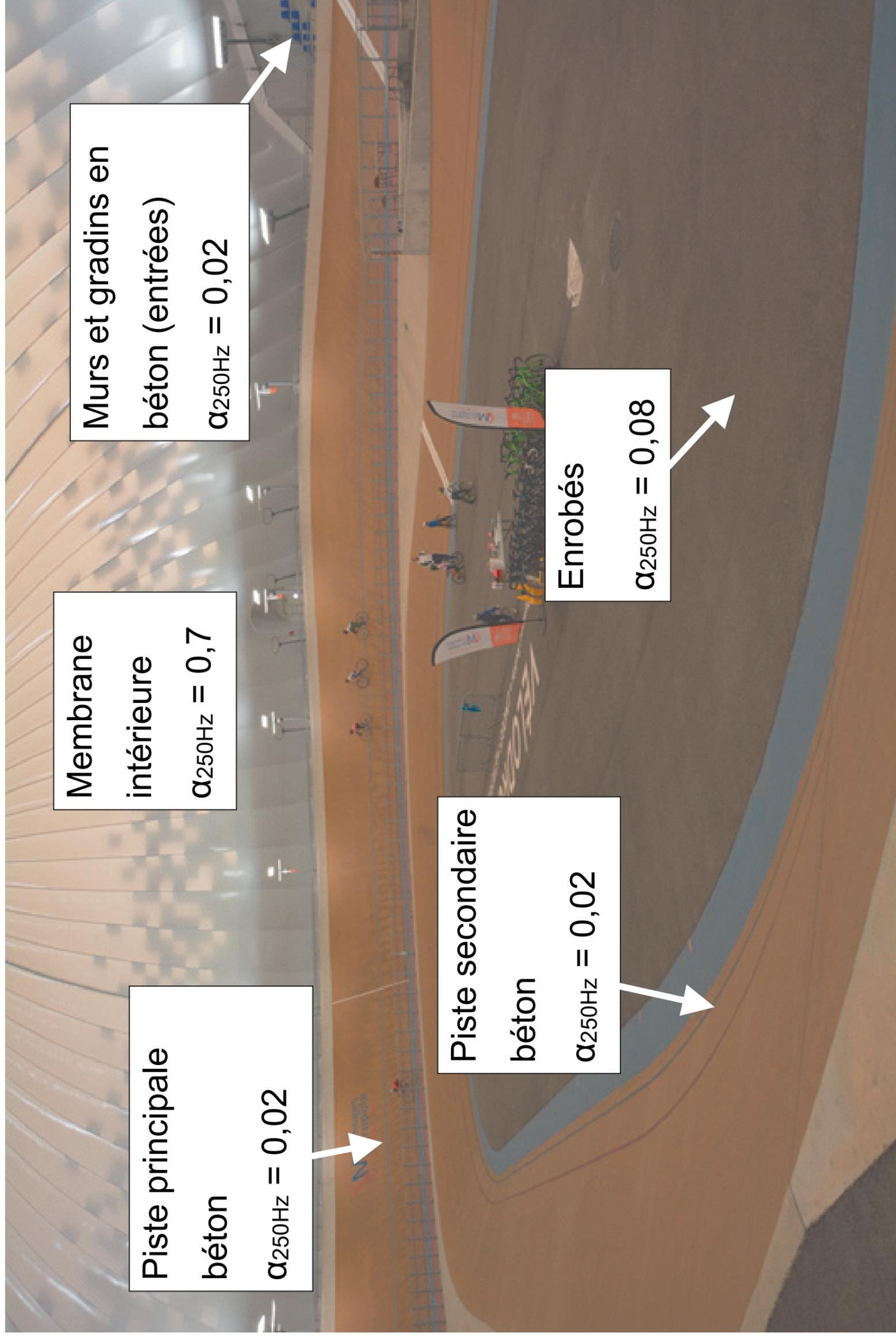
Document technique DTS3 : caractéristiques thermiques des générateurs d'air chaud.



Partie 1/2

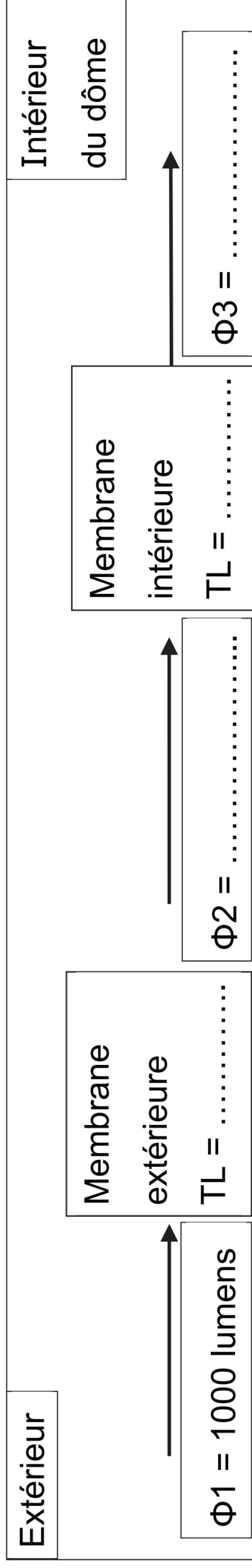
| Modèle | PKE100 | | PKE120 | | PKE140 | | PKE190 | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|------|--------|-------|--------|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Classe de NOx | 4 - 5 avec BRÛLEURS À GAZ LOW NOx | | | | | | | | | | | | |
| | MIN | >91% | MAX | MIN | >91% | MAX | MIN | >91% | MAX | | | | |
| Débit calorifique foyer | kW | 68,5 | 100,5 | 110,7 | 68,5 | 100,5 | 137,0 | 96,0 | 131,4 | 195,0 | 115 | 202,5 | 230,0 |
| Puissance thermique utile | kW | 64,4 | 91,9 | 90,7 | 64,3 | 91,9 | 120,1 | 90,2 | 120,3 | 171,0 | 108,1 | 184,7 | 205,9 |
| Rendement combustion | % | 94,0 | 91,4 | 87,7 | 94,0 | 91,4 | 87,7 | 94,0 | 91,4 | 87,7 | 94,0 | 91,2 | 89,5 |

| Modèle | | PKE100 | | PKE120 | | PKE140 | | PKE190 | |
|----------------------------|--|-----------------------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| Classe de NOx | | 4 - 5 avec BRÛLEURS À GAZ LOW NOx | | | | | | | |
| ----- | | MIN | >91% | MIN | >91% | MIN | >91% | MIN | >91% |
| Pertes cheminée brûleur en | | 6,0 | 8,6 | 6,0 | 8,6 | 6,0 | 8,6 | 6,0 | 8,8 |
| marche | | 12,3 | | 12,3 | | 12,3 | | 10,5 | |
| Pertes cheminée brûleur à | | < 0,1 | | < 0,1 | | < 0,1 | | < 0,1 | |
| l'arrêt | | | | | | | | | |
| Pertes boîtier | | 1,81 | | 1,46 | | 1,26 | | 1,16 | |
| Pression chambre de | | 14 | 30 | 14 | 30 | 13 | 28 | 10 | 32 |
| combustion | | 40 | | 40 | | 50 | | 40 | |
| Volume chambre de | | 0,37 | | 0,24 | | 0,37 | | 0,52 | |
| combustion | | | | | | | | | |



Document réponses DRS1 : flux lumineux transmis à travers la double membrane

Schéma simplifié à compléter de la transmission du flux lumineux Φ à travers la double membrane :

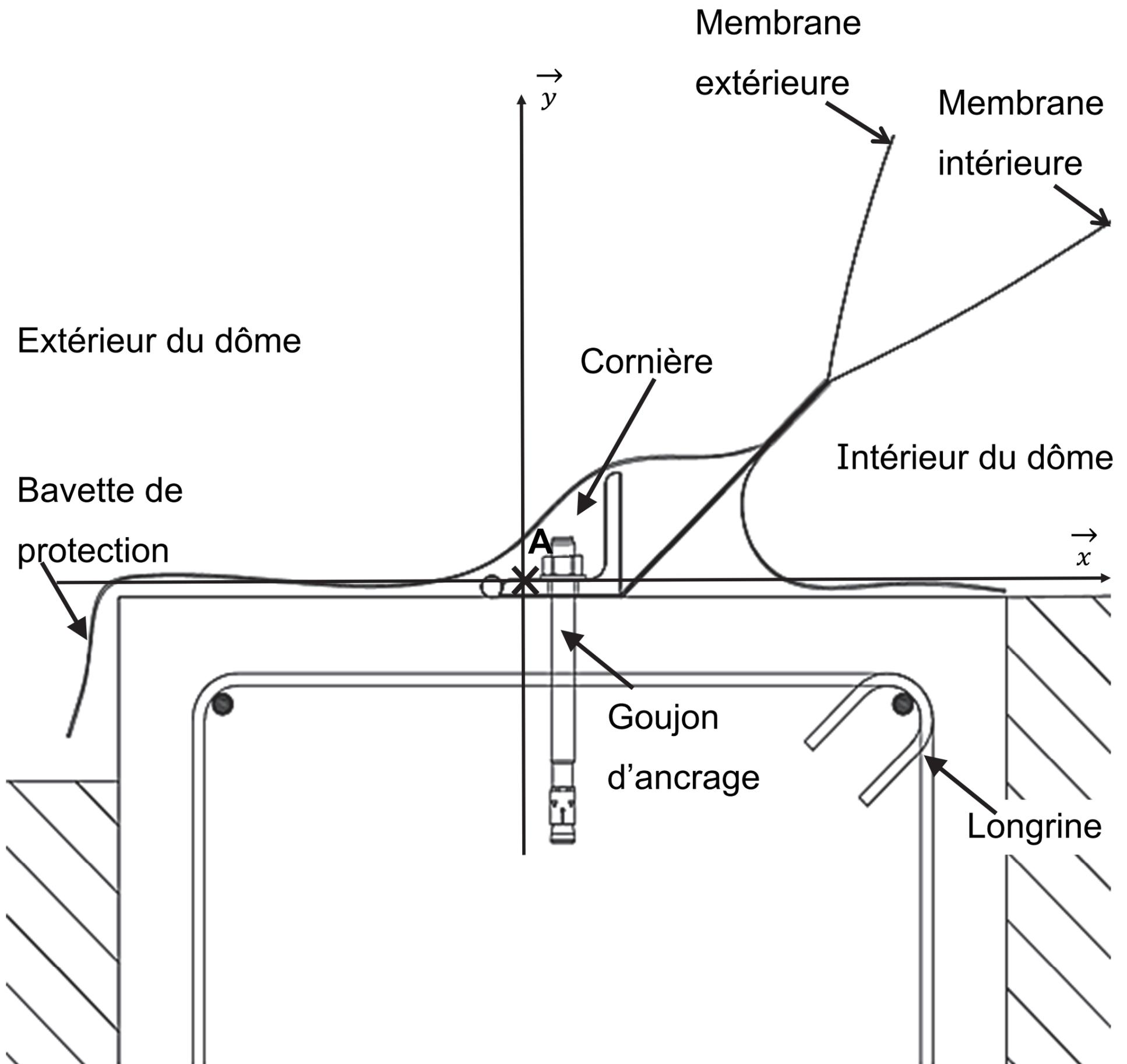


Document réponses DRS2 : bilan des déperditions thermiques du vélodrome

| | Résistance thermique R_{totale} en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ | Transmission thermique U en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ $U = \frac{1}{R_{totale}}$ | ΔT en $^{\circ}C$ | Surface en m^2 | Déperditions thermiques en kW |
|--|--|--|------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Dôme (double membrane) | | | | | 53 |
| Sol (piste en béton) | | | | | 248 |
| Murs en béton (entrées) | 0,26 | ..... | ..... | 150 | ..... |
| Ponts thermiques (= 30 % des déperditions par la double membrane) | $D_{\text{ponts thermiques}} =$ |  |  |  | ..... |
| Air neuf | $D_{\text{air neuf}} =$ |  |  |  | ..... |

| | |
|--------------|-------|
| TOTAL | |
|--------------|-------|

Document réponses DRS3 : actions d'une cornière sur un goujon d'ancrage d'ancrage de la longrine périphérique



Échelle des forces 3 kN → 1cm

Document réponses DRS4 : calcul de l'aire d'absorption équivalente pour la bande d'octave 250 Hz

| Élément | Surface en m² | Coefficient d'absorption α (250 Hz) | S x α |
|--|---------------------------------|--|--------------------------------|
| Piste principale en béton | 2 742 | ..... | ..... |
| Piste secondaire en béton | 600 | ..... | ..... |
| Enrobés | 3 858 | ..... | ..... |
| Murs béton + Gradins | 250 | ..... | ..... |
| Membrane intérieure | 11 158 | ..... | ..... |
| Public de 250 personnes | | | 100 |
| Aire d'absorption équivalente A en m² (250 Hz) |  |  | ..... |

