

VÉLODROME RAYMOND POULIDOR



- Présentation de l'étude et questionnement..... pages 2 à 11
- Documents techniques DT1 à DT 8 pages 12 à 19
- Documents réponses DR1 à DR6 pages 20 à 25

Mise en situation

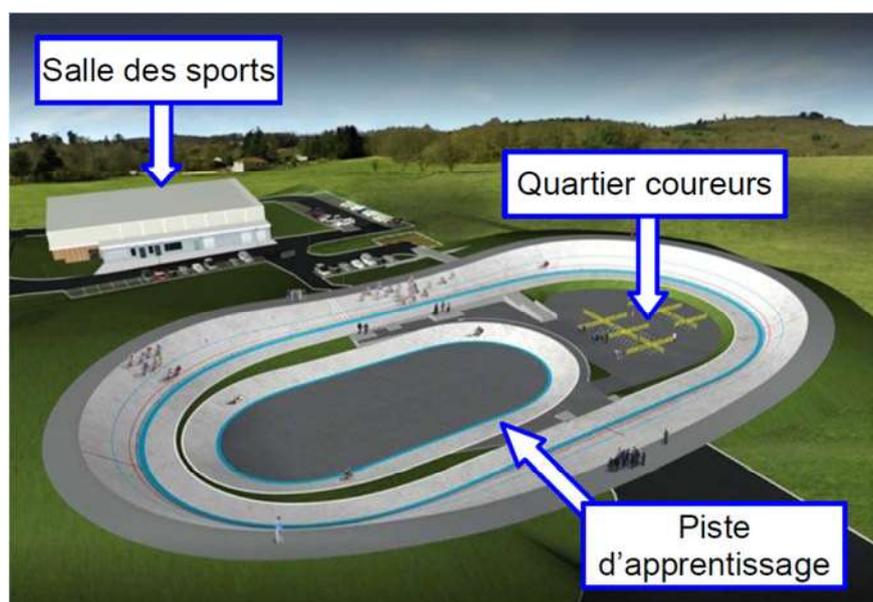
Le vélodrome Raymond Poulidor est situé à Bonnac-la-Côte à moins de 5 minutes de l'autoroute, près de Limoges dans le département de la Haute-Vienne. Il a été inauguré le 3 juillet 2019.

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 ci-dessus 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° ;
- 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 ci-dessous.



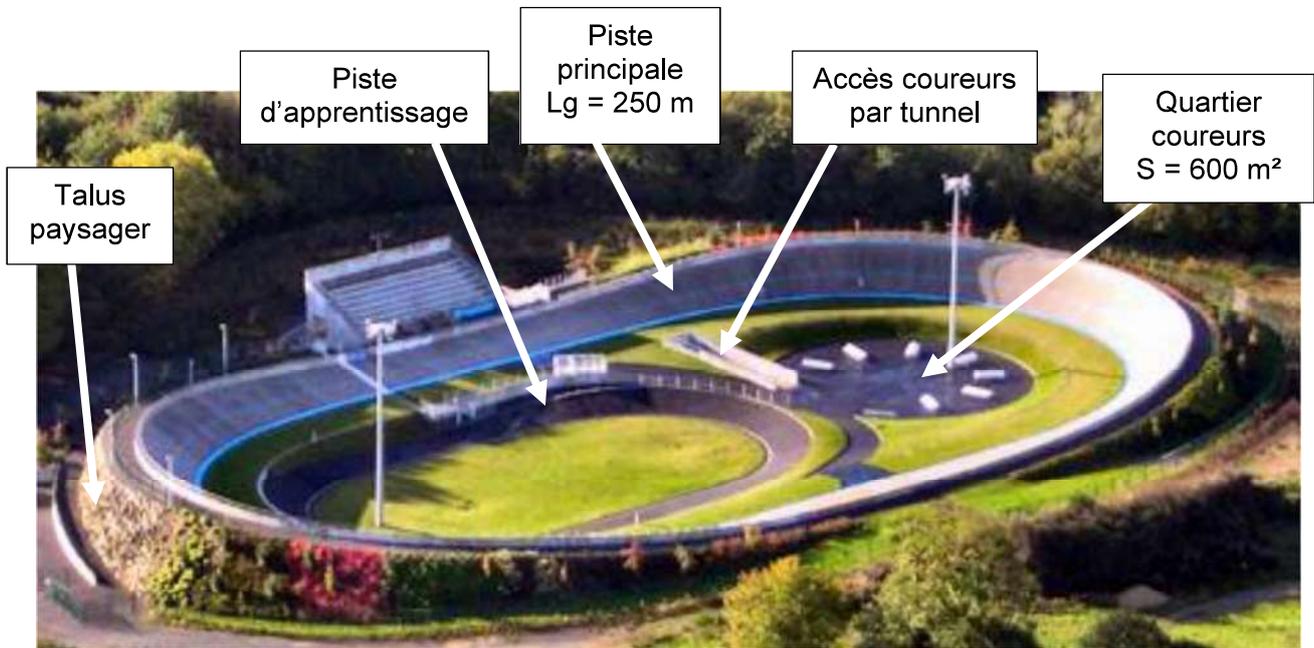
Le site peut accueillir jusqu'à 1 636 spectateurs, répartis dans les tribunes, autour de la piste et dans le quartier des coureurs.

23-2D2IDACME1

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.

23-2D2IDACME1

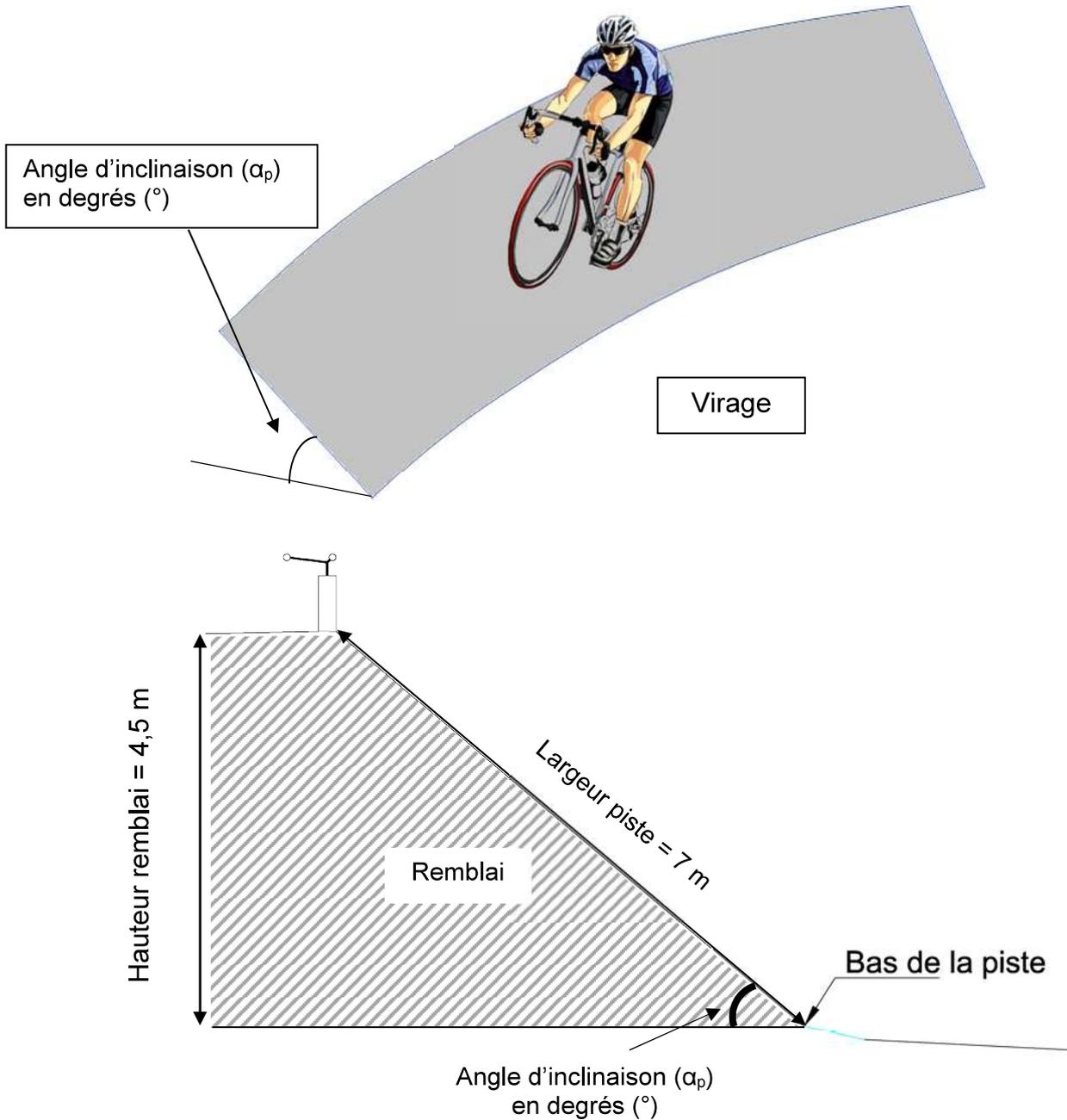
Dans les virages sur la piste principale, le cycliste est en mouvement circulaire autour du point O (voir DR2), avec une vitesse maximale de $85 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Question 1.4 | **Tracer** à l'échelle le vecteur vitesse linéaire du cycliste, $\vec{V}_{\text{cycliste/piste}}$ sur la piste principale pour une vitesse maximale, au point indiqué sur le DR2.

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 .



Question 1.5 | **Calculer** l'angle d'inclinaison (α_p) de la piste dans un virage.

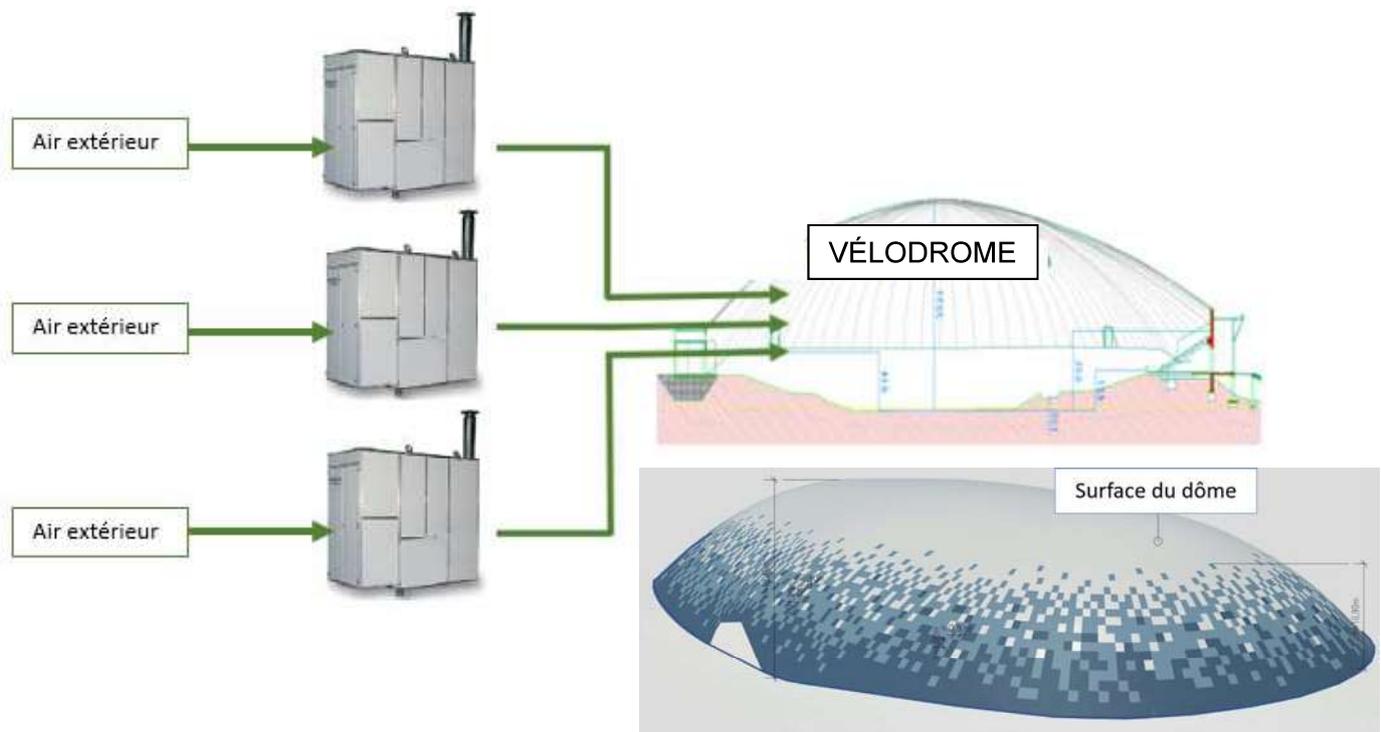
DT2

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 | **Calculer** le poids du dôme.

DT2

Rappel : Masse = Masse surfacique x Surface du dôme

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

23-2D2IDACME1

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

Question 2.2 | **Calculer** la force résultante de cette pression intérieure.

DT3

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

Question 2.3 | D'après le diagramme de contexte, **relever** deux perturbations extérieures que la pression intérieure doit compenser.

DT4

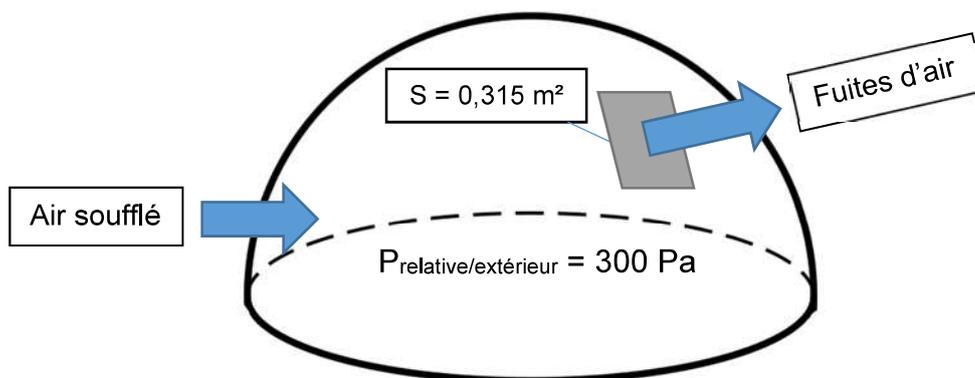
Partie 3 : comment sélectionner les générateurs d'air chaud ?

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.



- $V = \sqrt{\frac{2 \times P}{\rho_{\text{air}}}}$
 - 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 | **Choisir** le modèle le plus adapté pour les trois générateurs d'air.

DT5

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.).

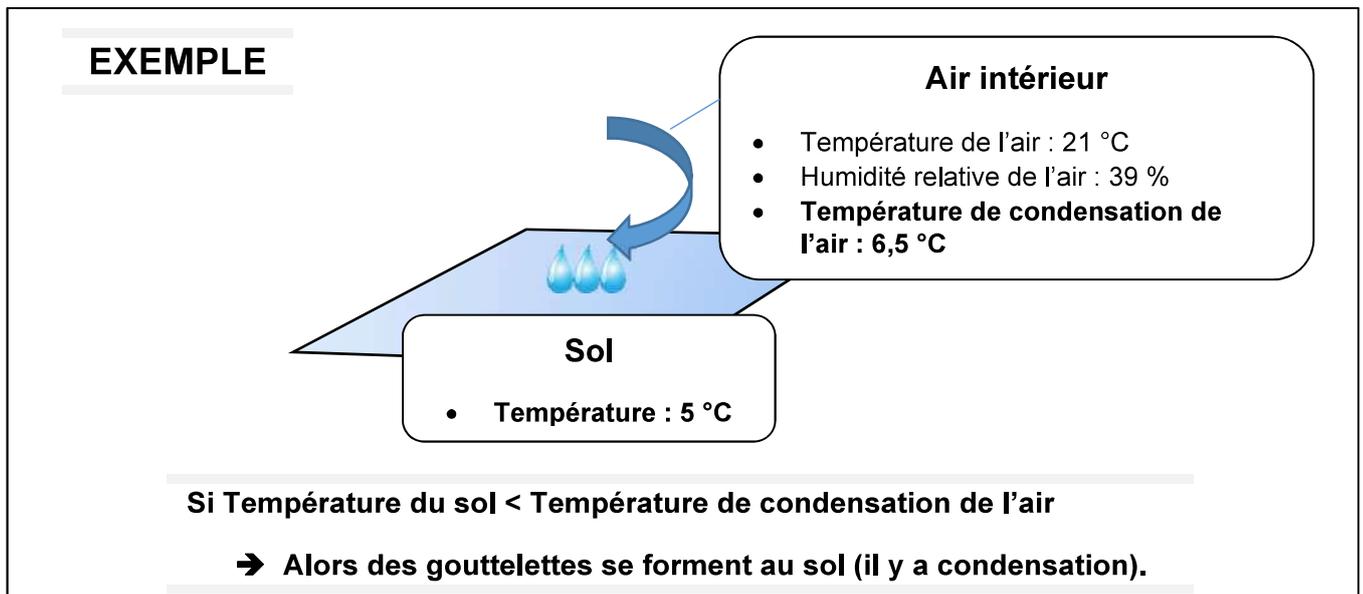
Question 3.4 | **Indiquer** aux étapes 2, 3 et 4 sur le DR3, le niveau de pression dans le sas technique pour l'entrée d'une personne dans le vélodrome.

DR3

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).



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

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

Question 4.1 | **Calculer** les températures du sol θ en complétant le DR4.

DR4

Question 4.2 | **Déterminer** les températures de condensation manquantes dans le DR4 à partir du DT7.

DT6, DT7, DR4

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.

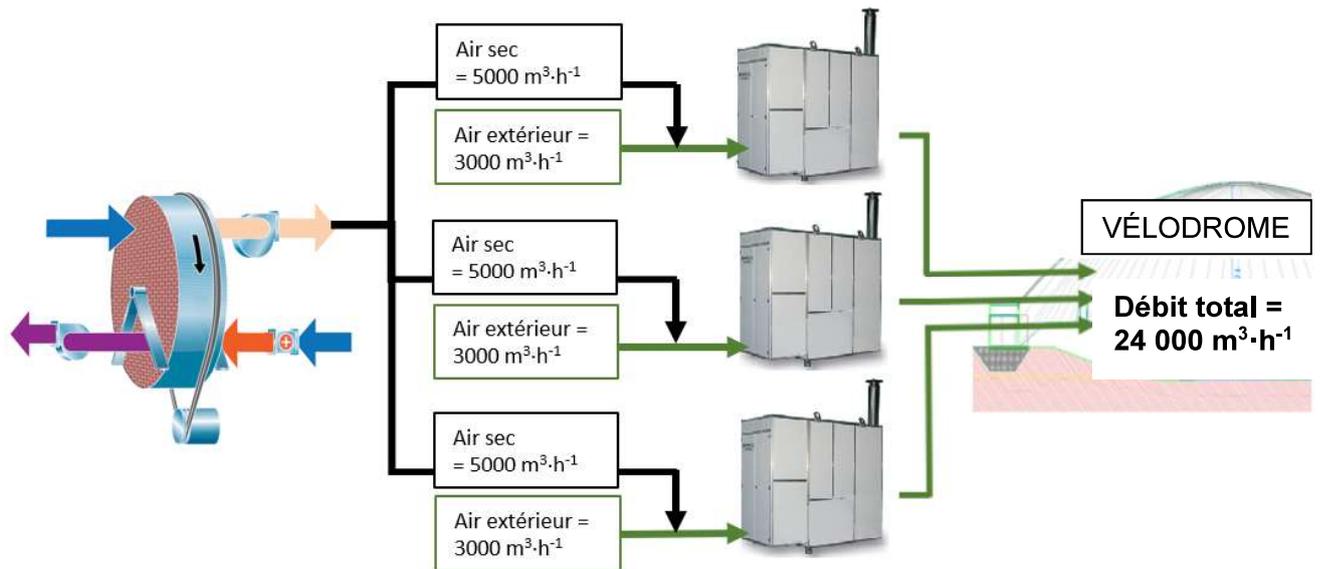
23-2D2IDACME1

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 dessiccante), 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 m³·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 | 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.

DT8, DR5

La roue déshydratante s'active sur le principe de l'algorithme 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.

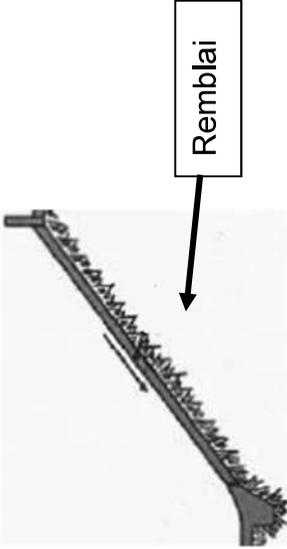
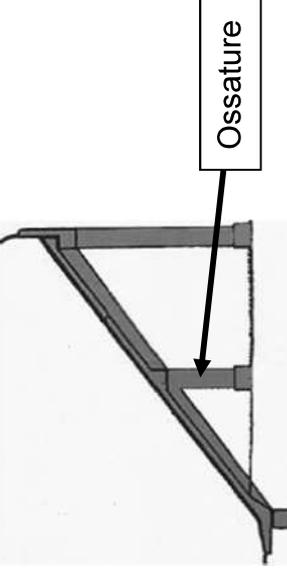
Question 5.2 | Indiquer sur le DR6 si la roue déshydratante s'active ou non en fonction des différents cas proposés.

DR6

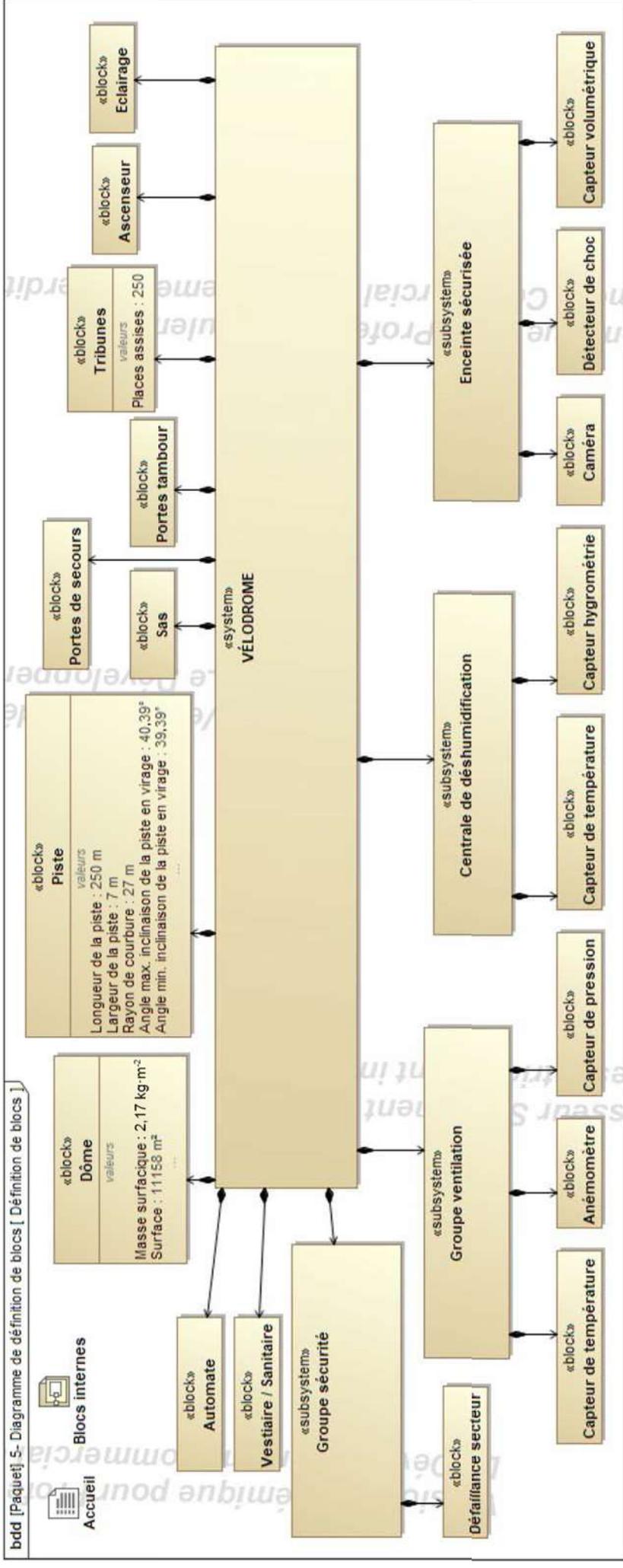
L'air contenu dans le vélodrome se renouvelle totalement toutes les 4 h environ.

Question 5.3 | Conclure sur le choix du constructeur d'avoir ajouté une marge de sécurité de 5 °C pour l'activation de la roue déshydratante.

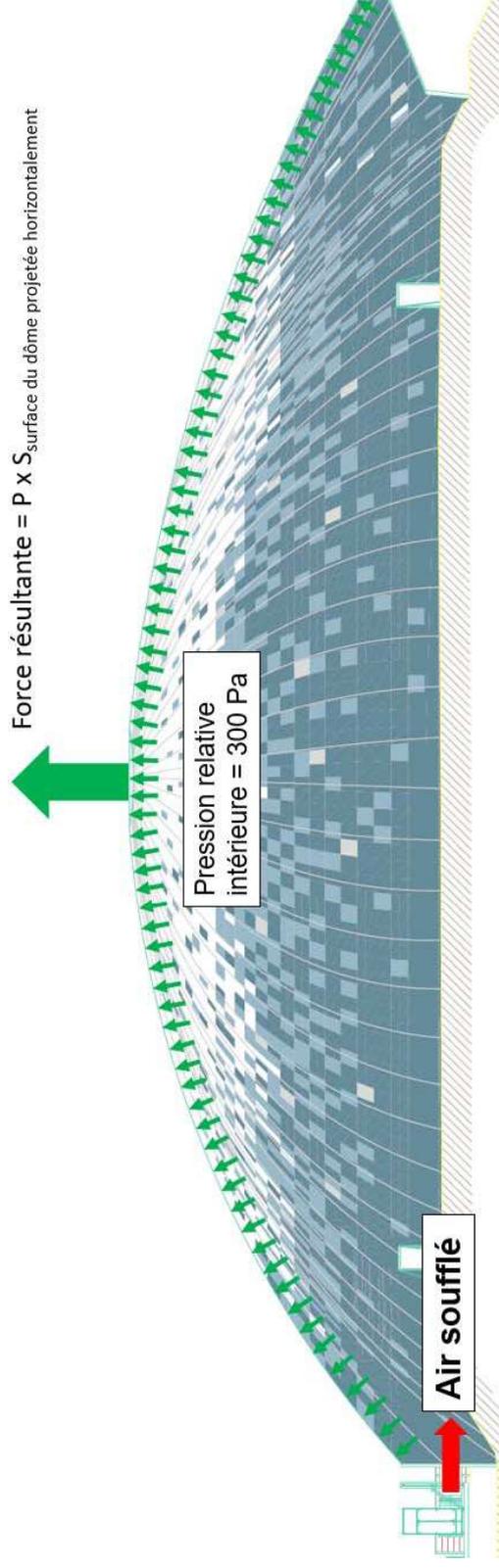
DR6

<p>Les pistes en béton sur remblai</p> <p>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.</p>  <p>Les pistes sur remblai sont plus fréquentes et permettent une meilleure insertion dans le paysage.</p> <p>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.</p>	<p>Les pistes en béton sur ossature</p> <p>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.</p>  <p>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.</p> <p>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).</p>
	

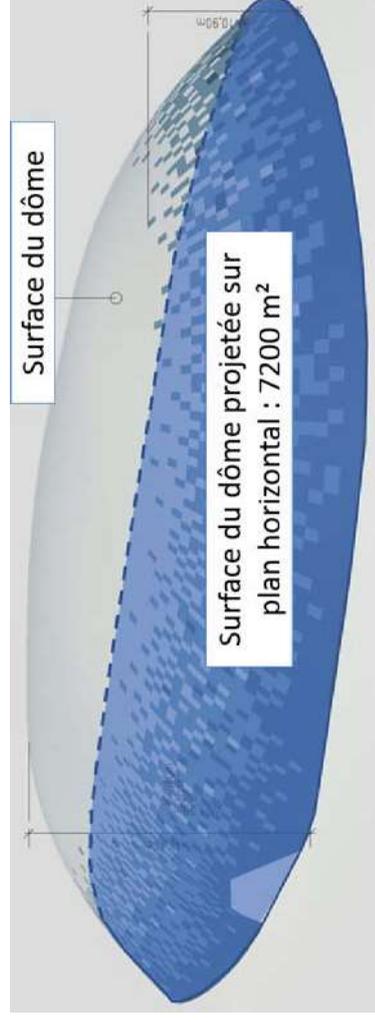
DT2 : diagramme de définition de blocs (BDD)



DT3 : résultante des forces de pression

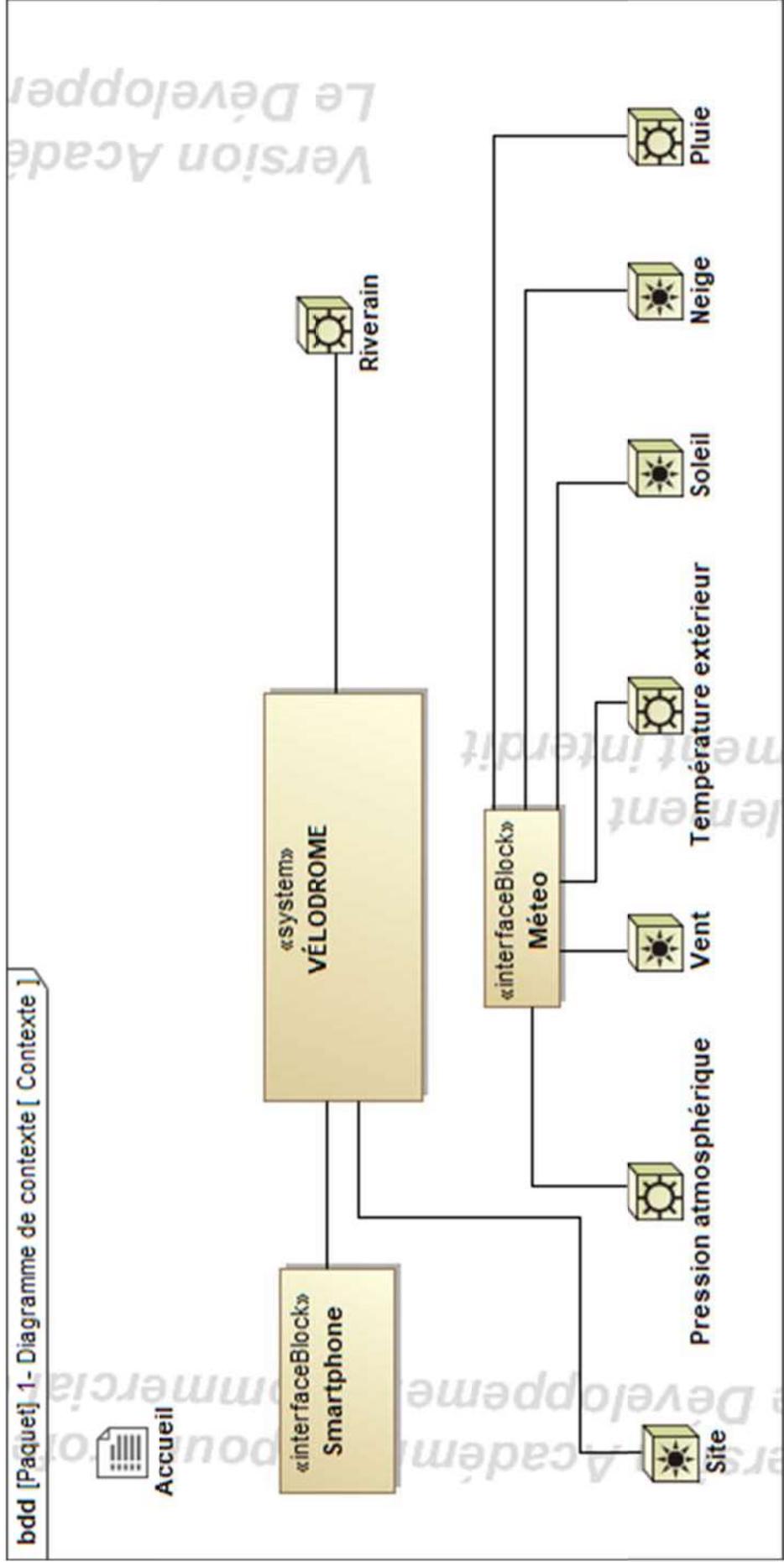


- On donne :**
- Force résultante = $P \times S_{\text{surface du dôme projetée sur plan horizontal}}$
 - Force résultante en Newton (N)
 - P : Pression relative intérieure en Pascal (Pa)
 - $S_{\text{surface du dôme projetée sur plan horizontal}}$ en m^2



23-2D2IDACME1

DT4 : diagramme de contexte

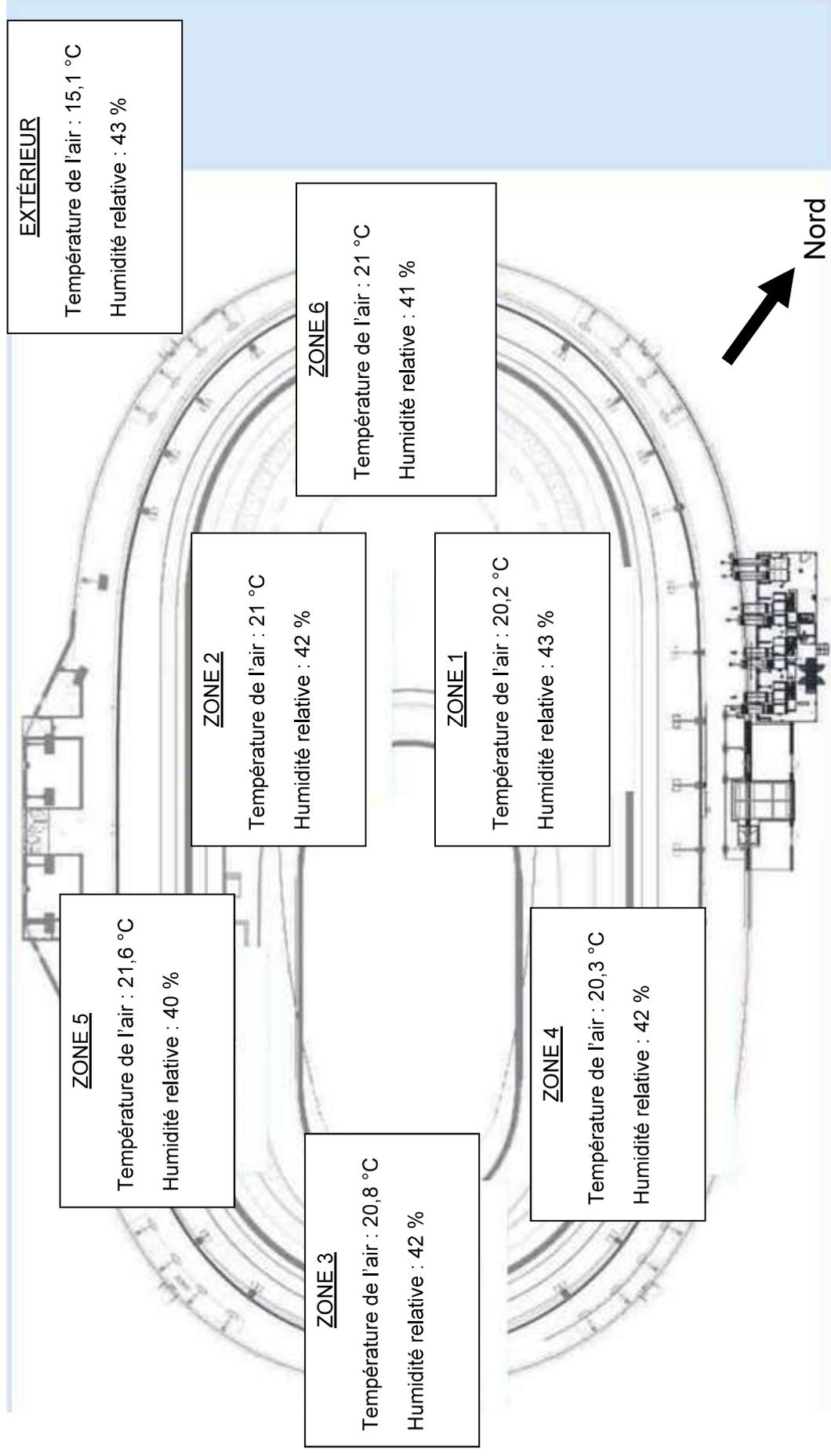


Générateur d'air chaud PKE-SPORT



Modèle	PKE100K	PKE140K	PKE190K	PKE250K	PKE320K	PKE420K	PKE550K
Version	P00	P00	P00	P00	P00	P00	P00
Débit d'air	7 000	9 800	13 400	18 200	21 800	30 000	35 000
Pression relative	Pa	300	300	300	300	300	300
Saut de température Min et Max	°K	10,9 - 46,7	11,1 - 44,5	10,3 - 42,8	9,6 - 42,5	9,7 - 45,6	7,8 - 48,7
Alimentation électrique	V	400 triphasé					
Fréquence	Hz	50					
Puissance utile moteur Max	kW	3,0	4,0	4,0	7,5	7,5	11
Puissance électrique absorbée Max	kW	3,51	4,61	4,61	8,45	8,45	12,19
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

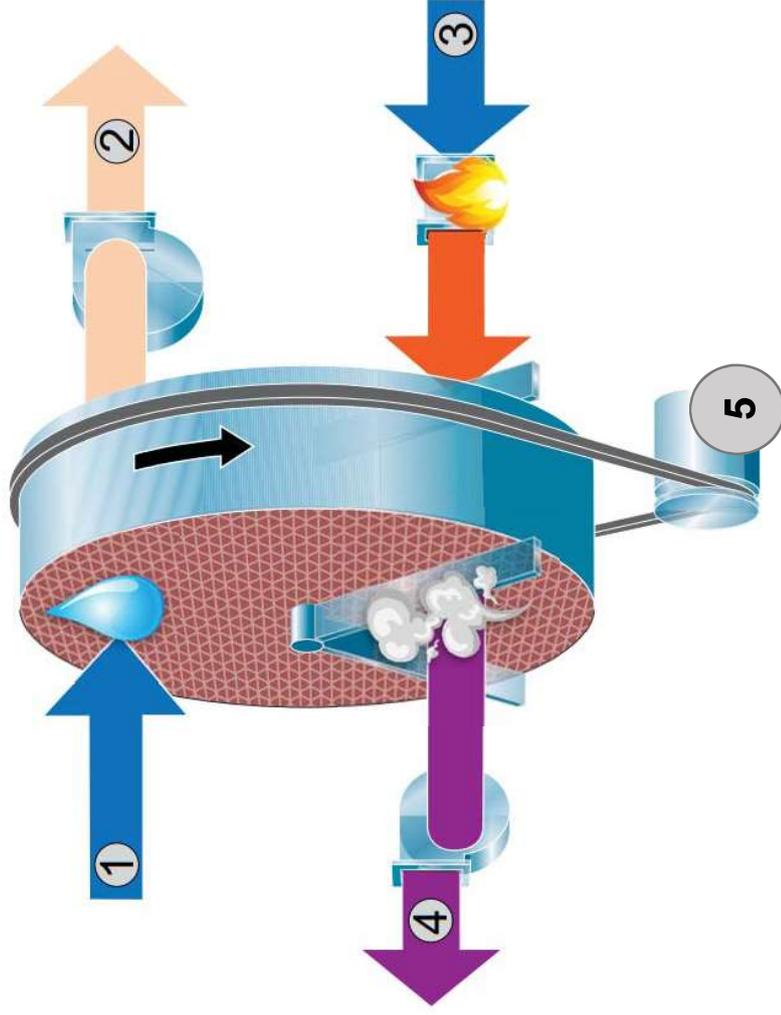


DT7 : température de condensation en fonction de la température et de l'humidité relative de l'air

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) Température de l'air	38 %	39 %	40 %	41 %	42 %	43 %
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.

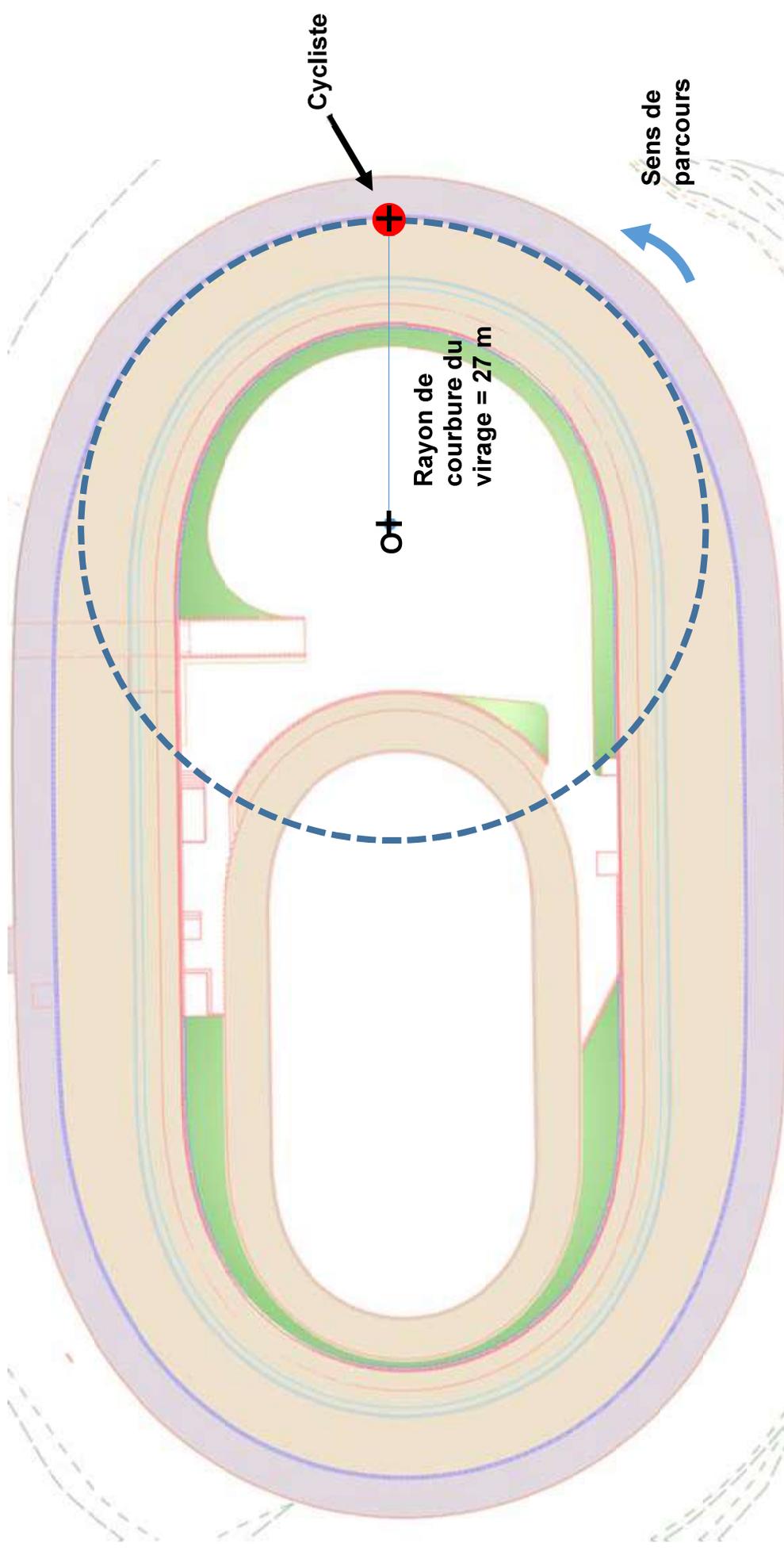
Étape 4 : de l'air humide ressort, la roue est sèche.

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 OEUVRE	RÉALISATION DE VESTIAIRES/ STOCKAGE	INSERTION DANS LE PAYSAGE	BILAN CARBONE	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 +

Document réponses DR2 : vecteur vitesse du cycliste en virage



23-2D2IDACME1

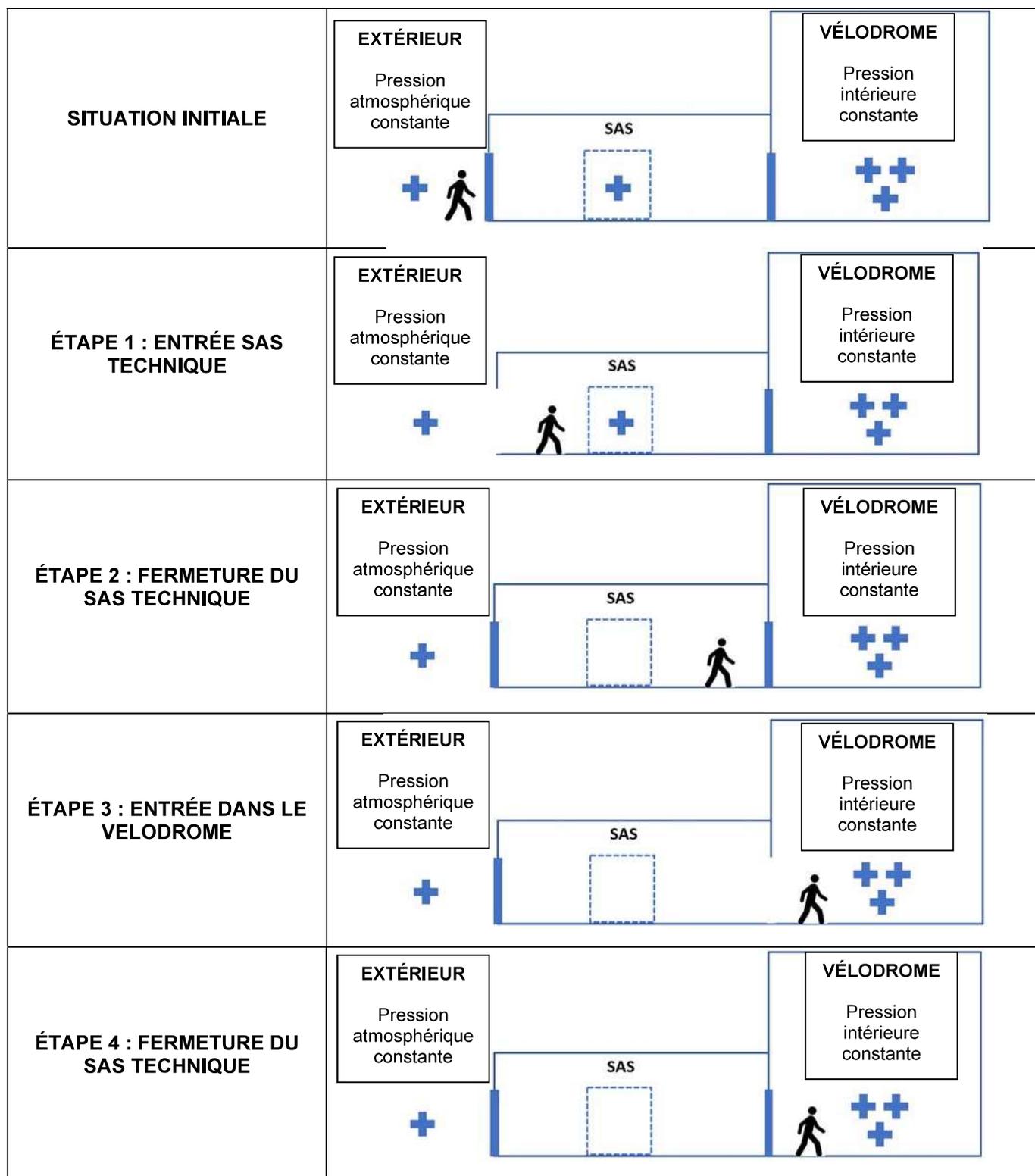
Échelle des vitesses : 1 cm → 20 km·h⁻¹

Document réponses DR3 : fonctionnement d'un sas technique

 Pression extérieure

 Pression intérieure dôme

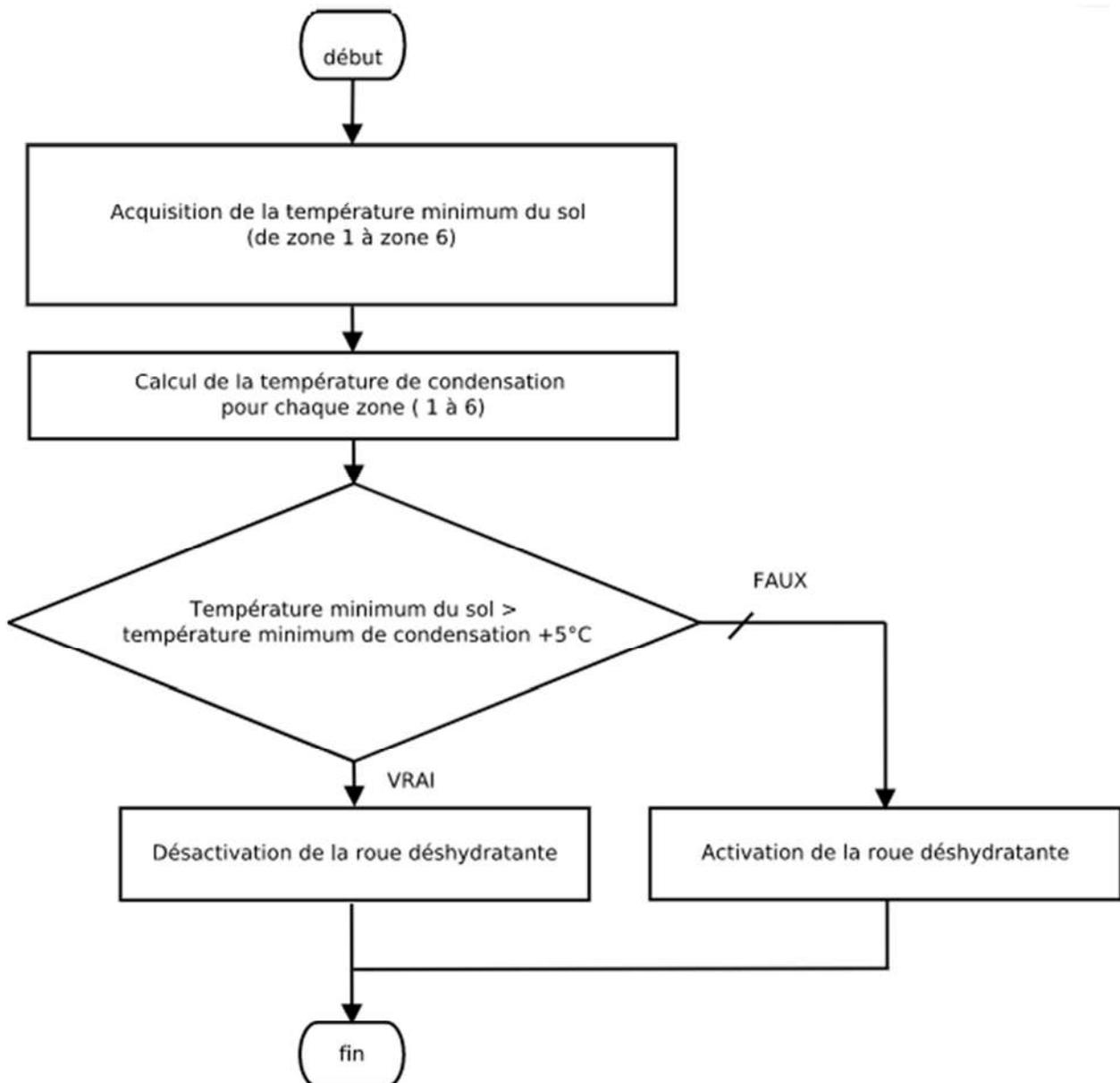
Légende :



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 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)			