Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

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 collège » 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.

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



- 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

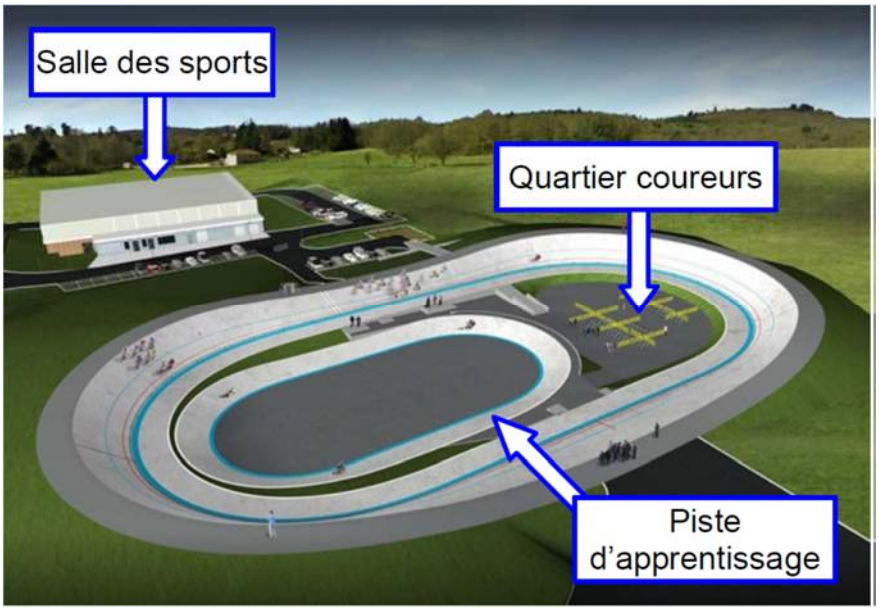
Le vélodrome Raymond Poulidor est situé à Bonnac-la-Côte à moins de 5 minutes de l'autoroute, près de Limoges dans le département de la Haute-Vienne. Il a été inauguré le 3 juillet 2019.

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 m^2 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.

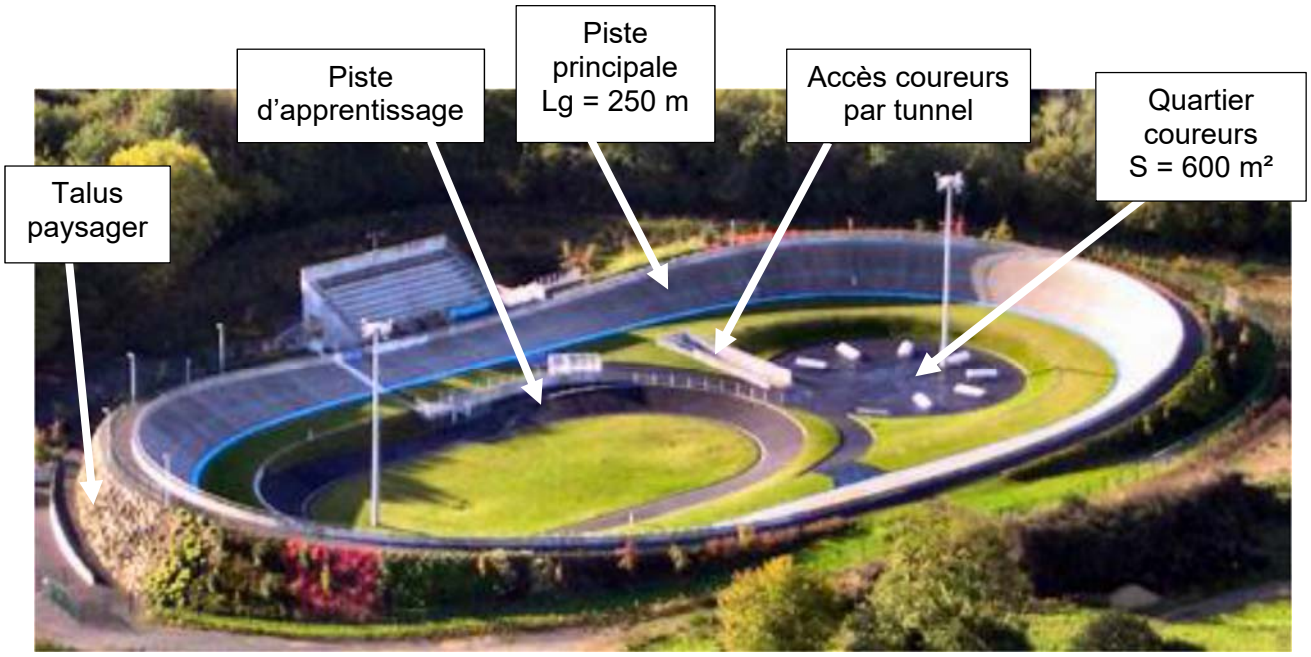


Le site peut accueillir jusqu'à 1 636 spectateurs, répartis dans les tribunes, autour de la piste et dans le quartier des coureurs.

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.

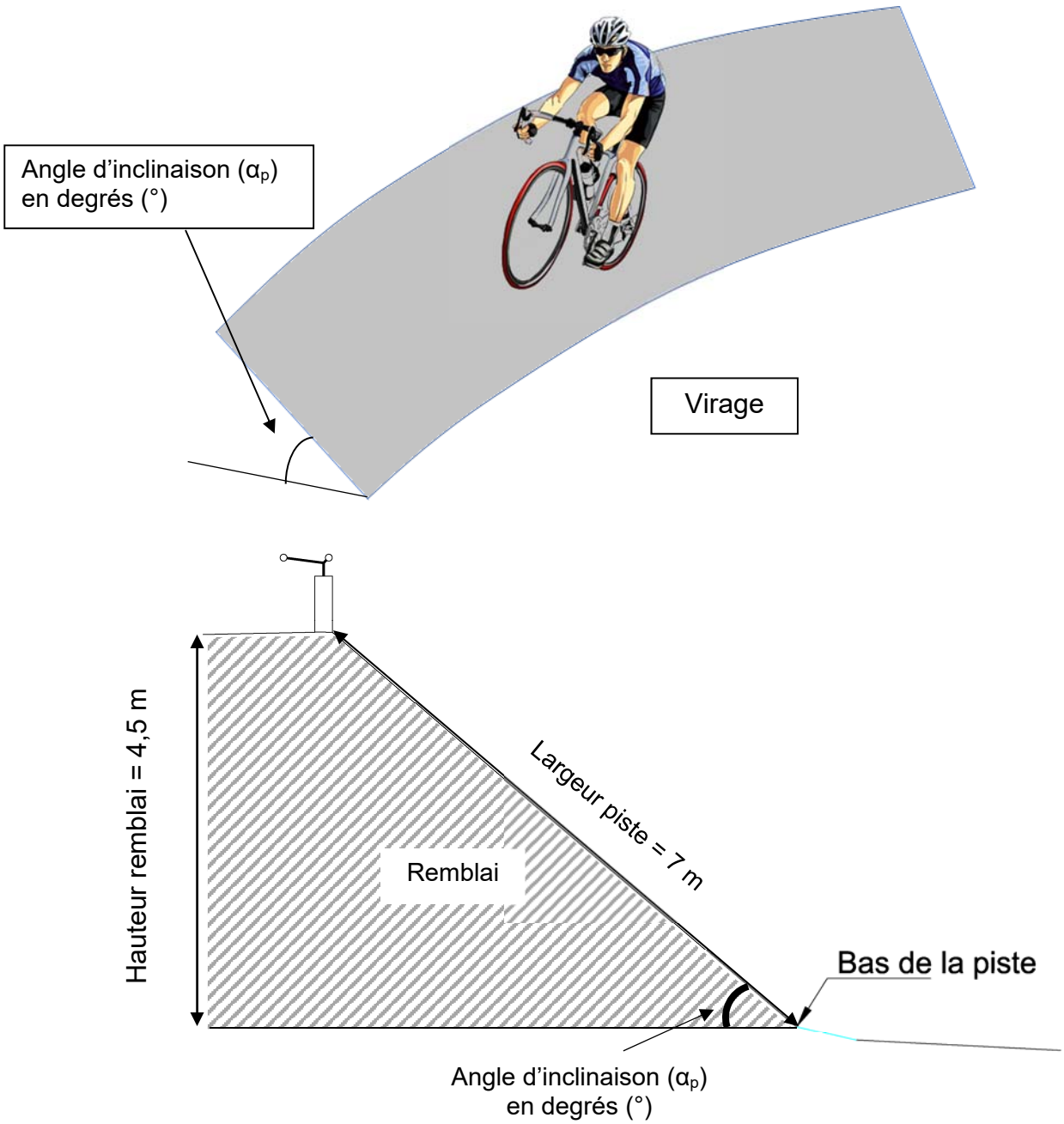
La Fédération Française de Cyclisme impose que la longueur de la piste principale Lg soit choisie de telle sorte qu'un nombre entier de demi-tours représente 1 km.

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 km·h^{-1}.

Question 1.4 DR2	**Tracer** à l'échelle le vecteur vitesse linéaire du cycliste, $\overrightarrow{V_{cycliste/piste}}$ sur la piste principale pour une vitesse maximale, au point indiqué sur le DR2. Échelle des vitesses : 1 cm → 20 km·h^{-1}

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

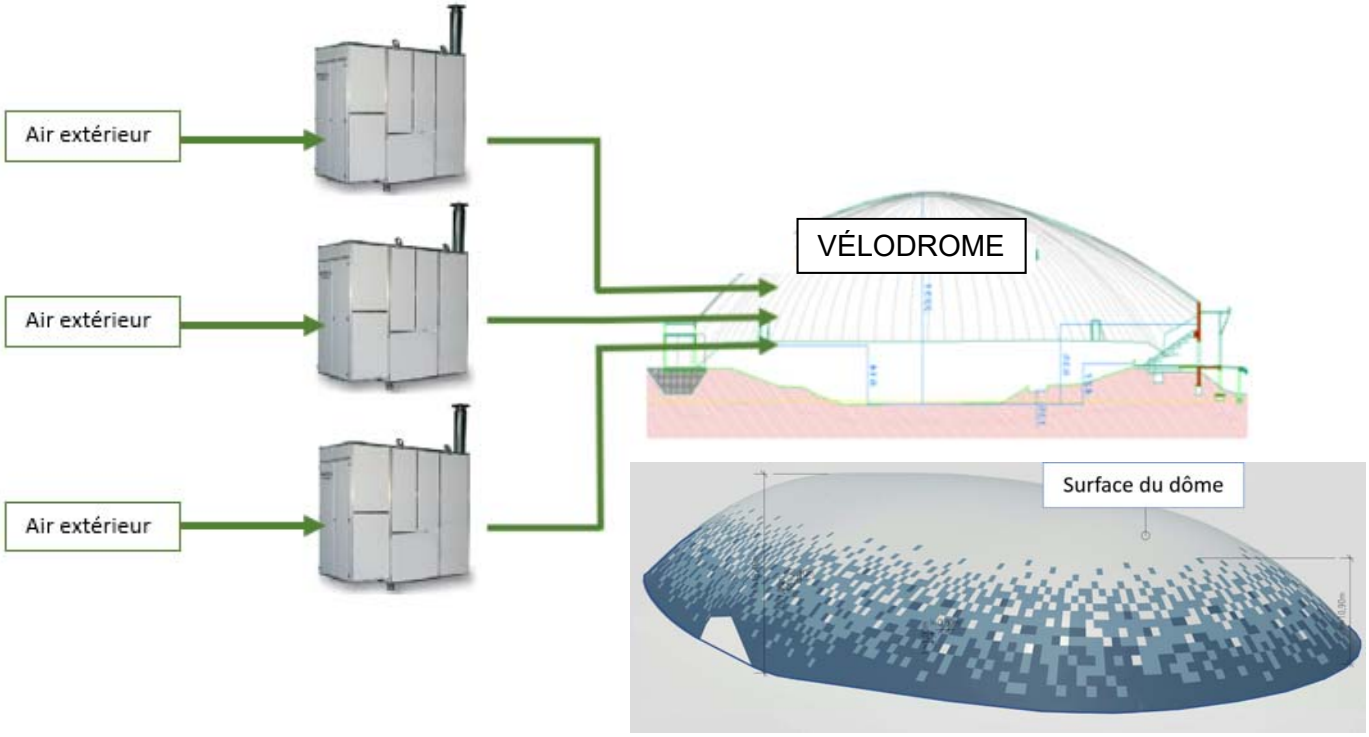


Question 1.5 DT2	**Calculer** l'angle d'inclinaison (α_p) de la piste dans un virage. **Justifier** la conformité de cette inclinaison.

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 $m \cdot s^{-2}$

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.

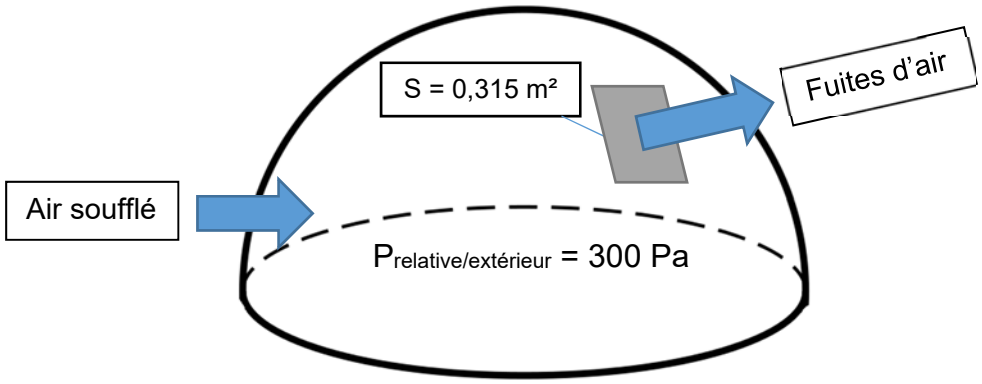
Partie 3 : comment sélectionner les générateurs d'air chaud ?

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 m² 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.



- $V = \sqrt{\frac{2 \times P}{\rho_{air}}}$
  - V : vitesse d'écoulement de l'air en $m \cdot s^{-1}$
  - P : pression relative de l'air à l'intérieur du dôme en Pascal (Pa)
  - ρ_{air} : masse volumique de l'air (1,25 $kg \cdot m^{-3}$)

Question 3.1 | **Calculer** la vitesse de l'air s'échappant par les fuites du dôme.

- $Q_{fuites} = V \times S$
  - Q_{fuites} : débit de l'air en $m^3 \cdot s^{-1}$
  - V : vitesse d'écoulement de l'air en $m \cdot s^{-1}$
  - 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 $m^3 \cdot s^{-1}$.

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

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

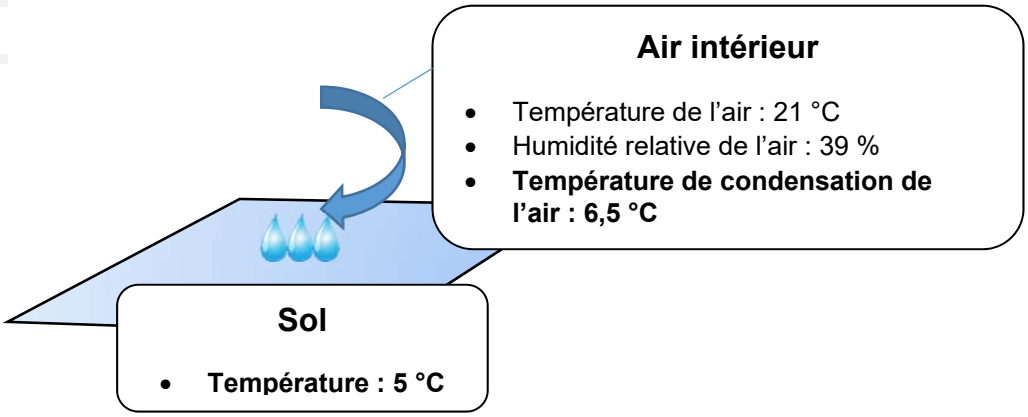
DR3

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).

EXEMPLE



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

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

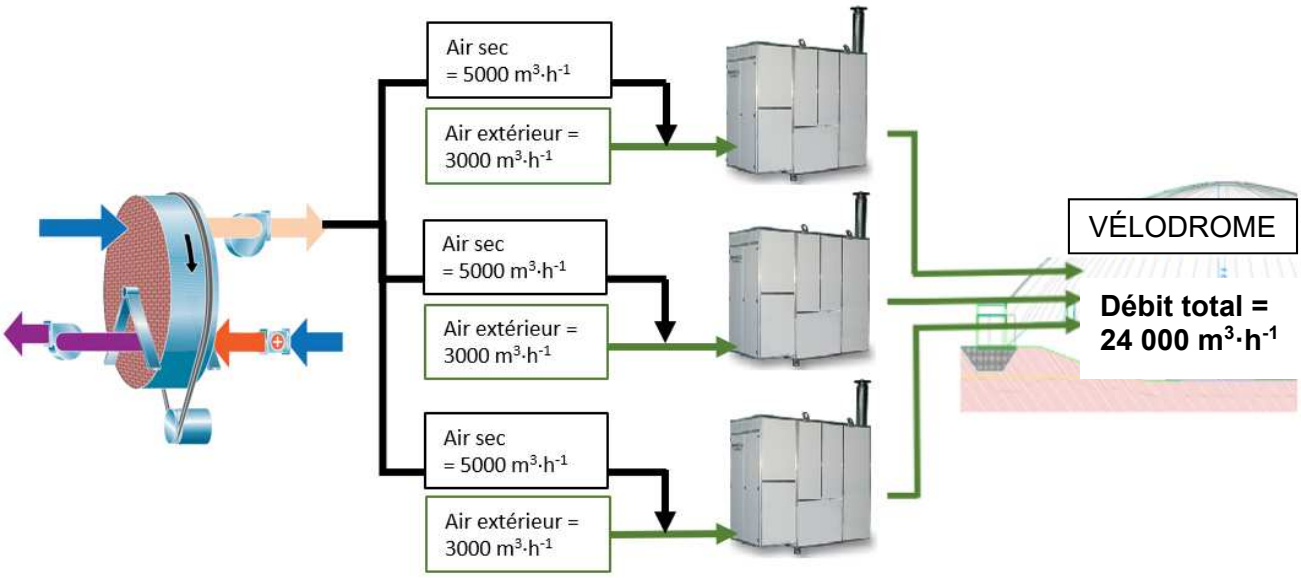
Question 4.1 DR4	**Calculer** les températures du sol θ en complétant le DR4.
Question 4.2 DT6, DT7, DR4	**Déterminer** les températures de condensation manquantes dans le DR4 à partir du DT7. **Indiquer** la présence de condensation (OUI ou NON) sur la piste.
Question 4.3	**Conclure** sur la nécessité 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 $m^3 \cdot h^{-1}$ 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.

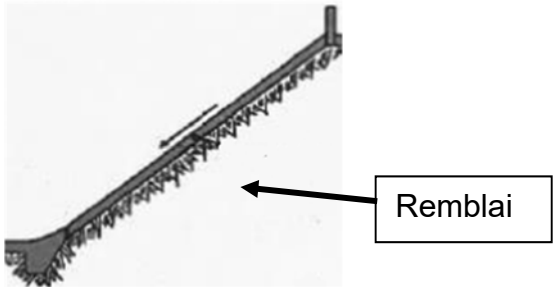
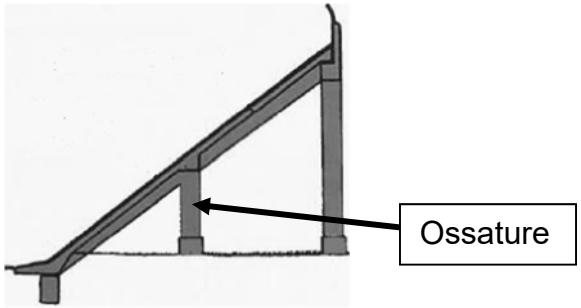
Une série de mesures est présentée dans le DR6.

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

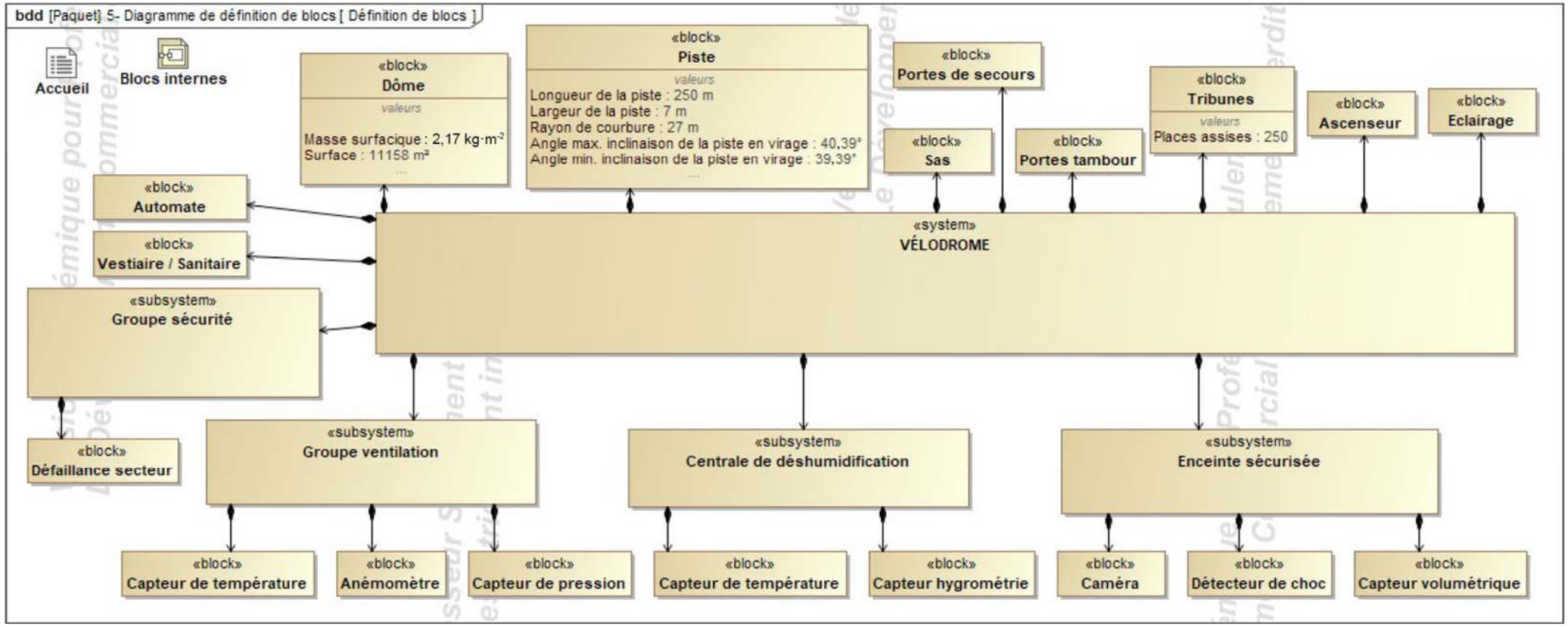
L'air contenu dans le vélodrome se renouvelle totalement toutes les 4 h environ.

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.

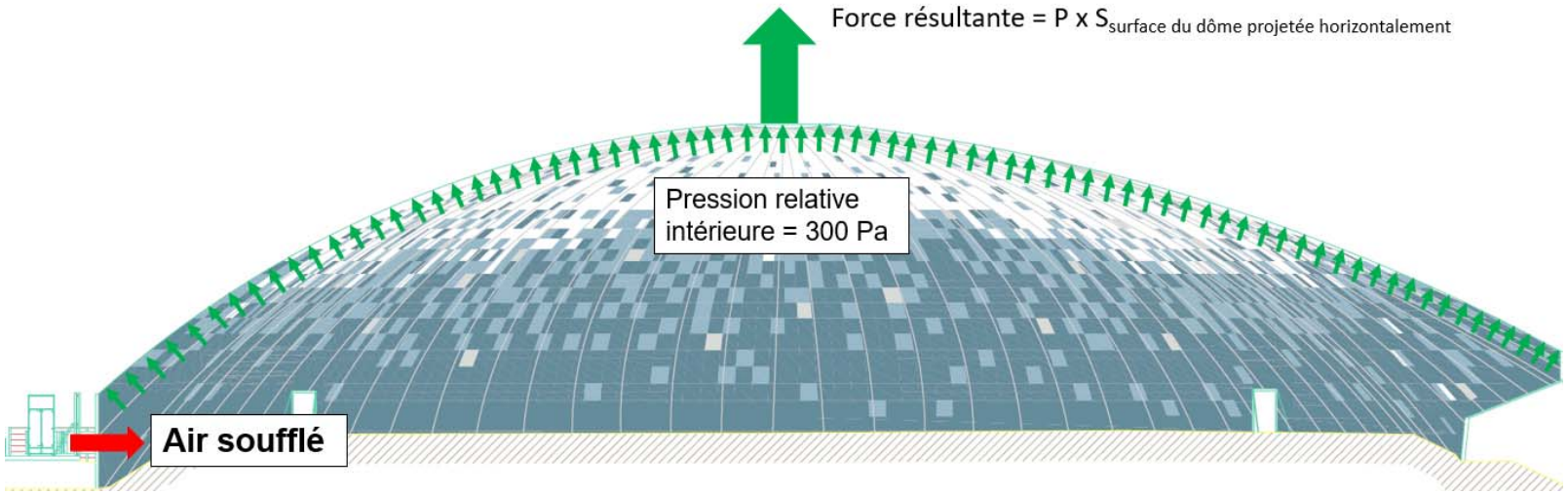
DT1 : types de pistes en béton - principes, avantages et inconvénients (extraits du guide de conception d'un vélodrome édité par la FFC)

Les pistes en béton sur remblai	Les pistes en béton sur ossature
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.	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)

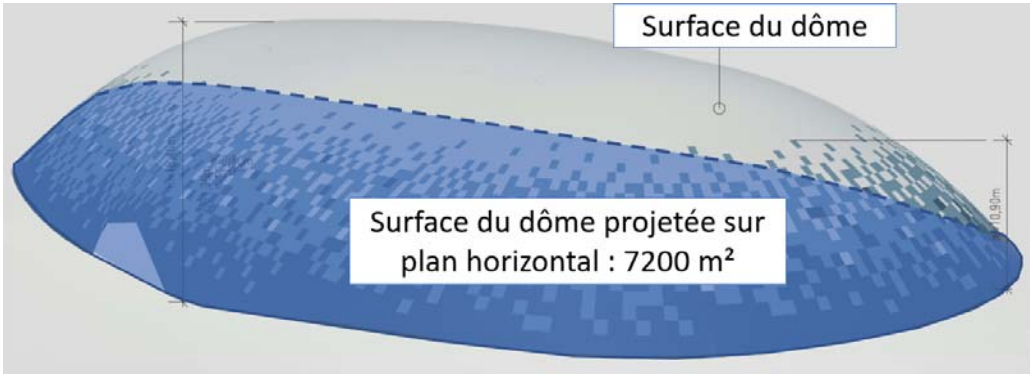


DT3 : résultante des forces de pression

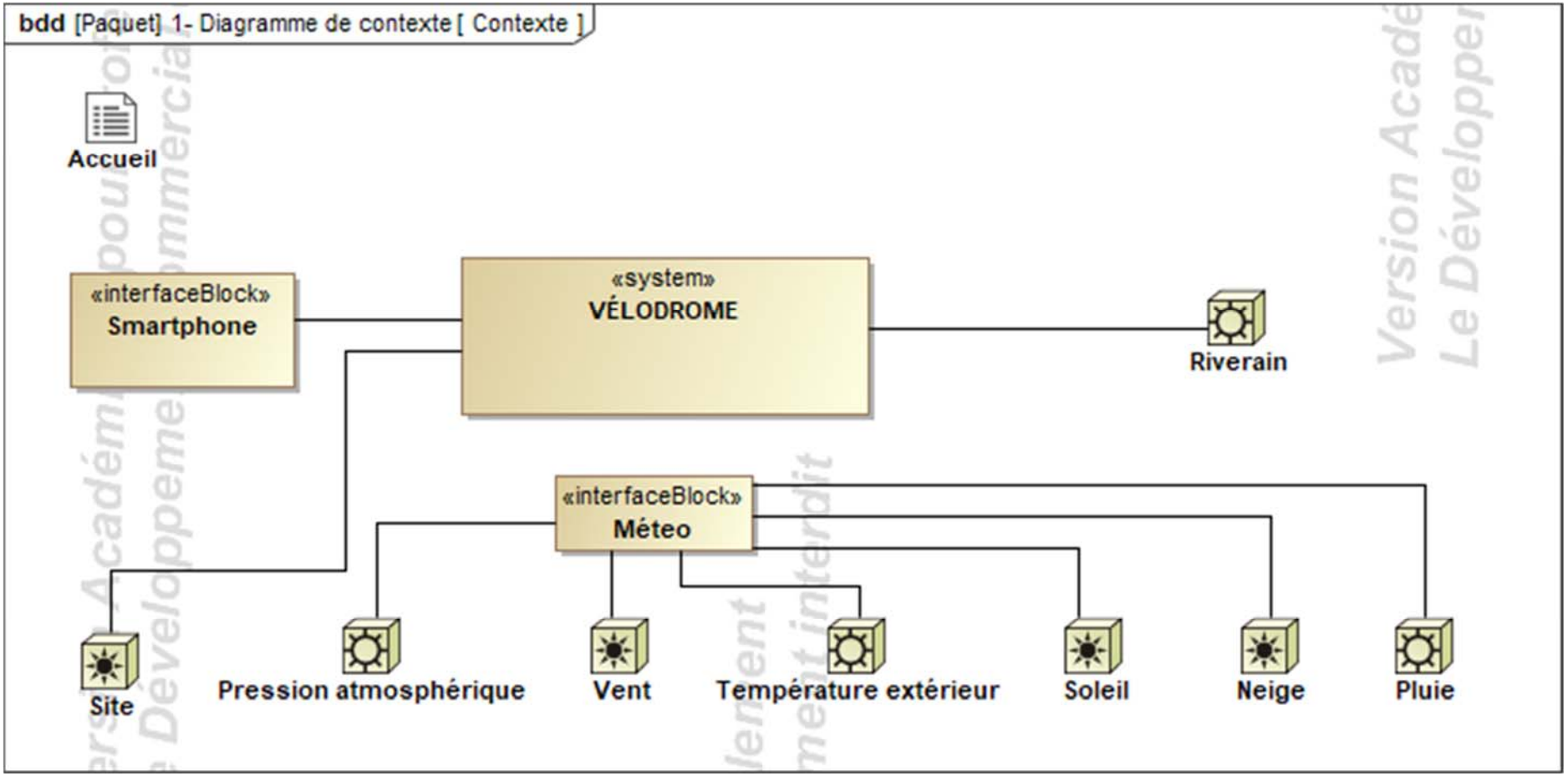


On donne : Force résultante = P x $S_{\text{surface du dôme projetée sur plan horizontal}}$

- 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

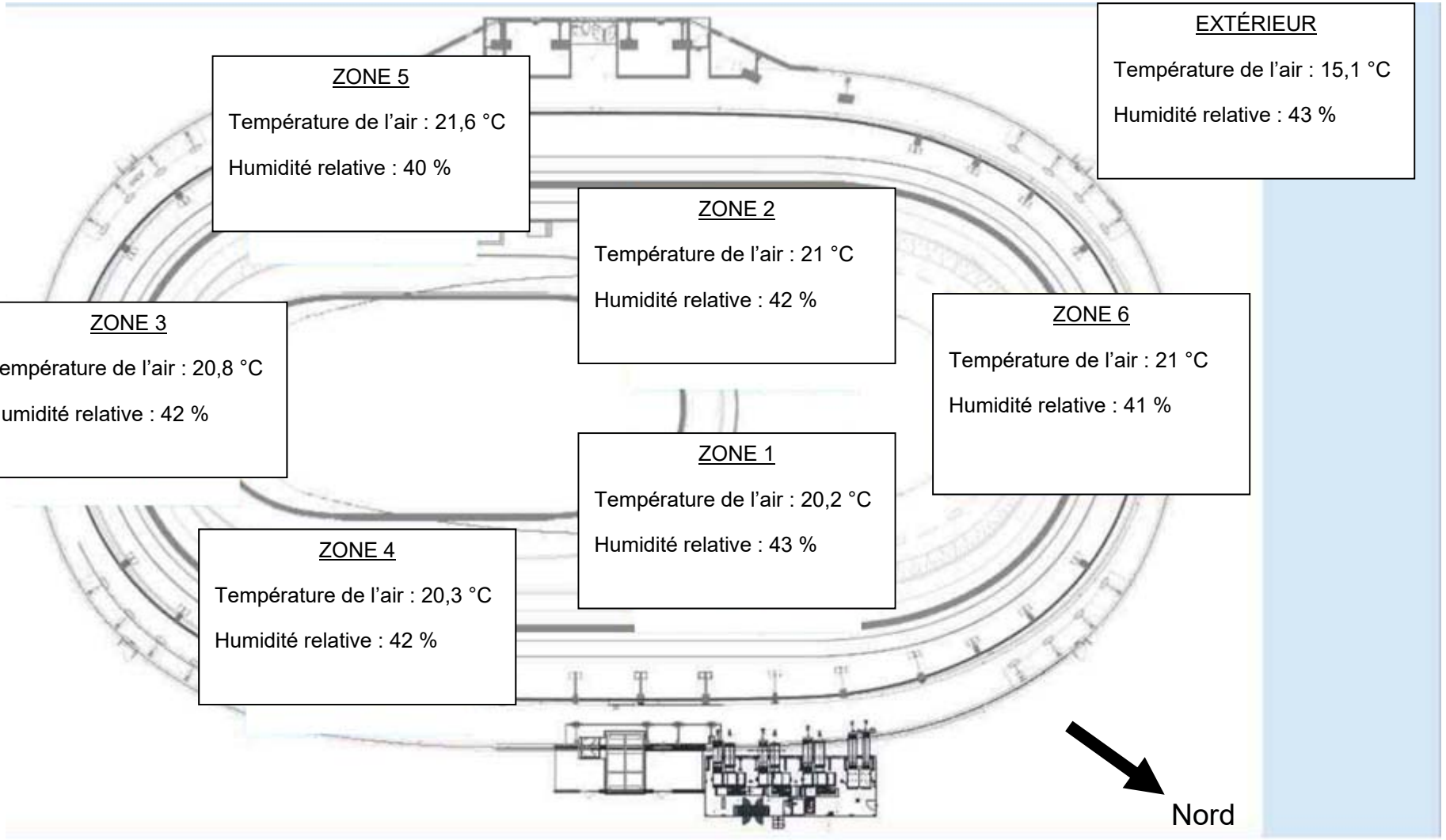


Générateur d'air chaud PKE-SPORT



Modèle		PKE100K	PKE140K	PKE190K	PKE250K	PKE320K	PKE420K	PKE550K
Version		P00	P00	P00	P00	P00	P00	P00
Débit d'air	$m^3 \cdot h^{-1}$	7 000	9 800	13 400	18 200	21 800	30 000	35 000
Pression relative	Pa	300	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	7,9 - 43,5	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	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

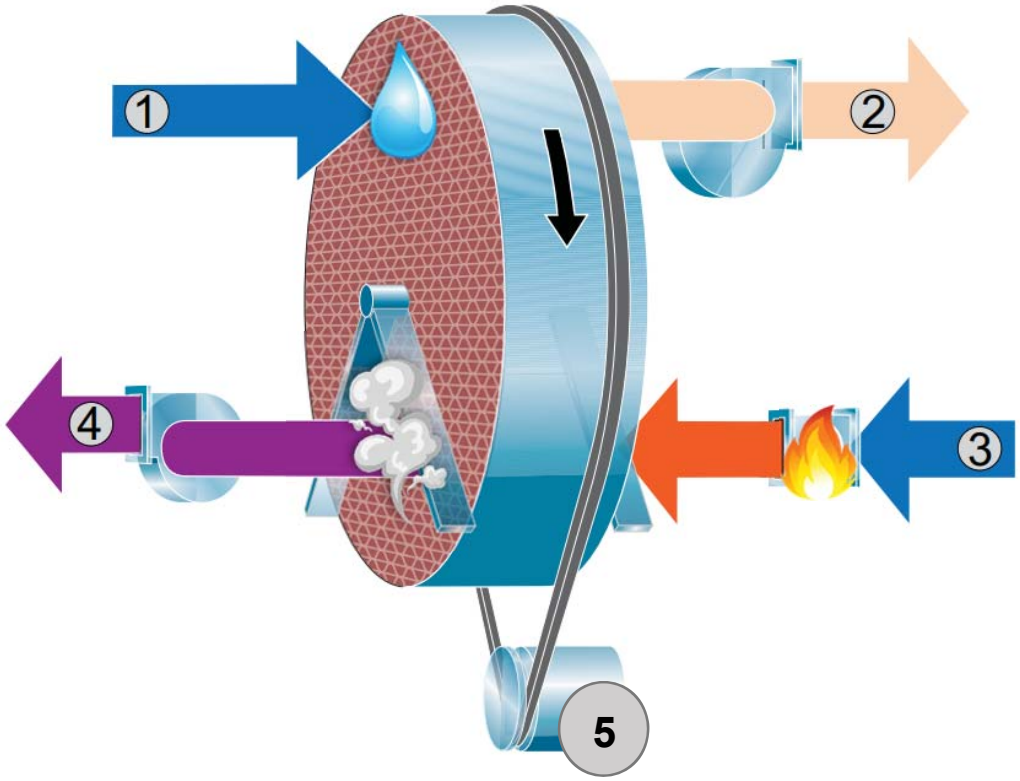


DT7 : température de condensation en fonction de la température et de l'humidité relative de l'air

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 + ……..

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

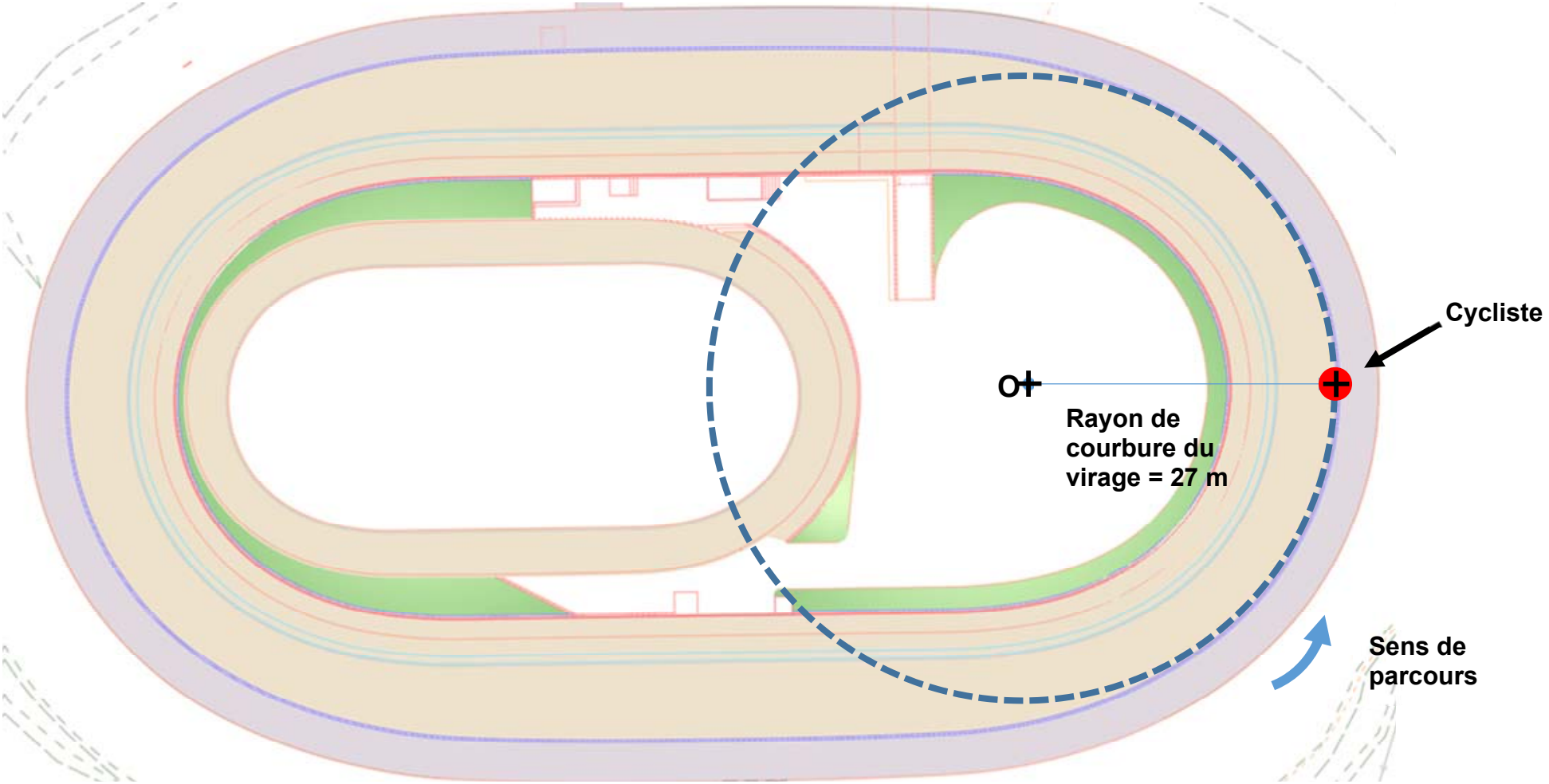
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Document réponses DR2 : vecteur vitesse du cycliste en virage



23-2D2IDACME1

Échelle des vitesses : 1 cm → 20 km·h^{-1}

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

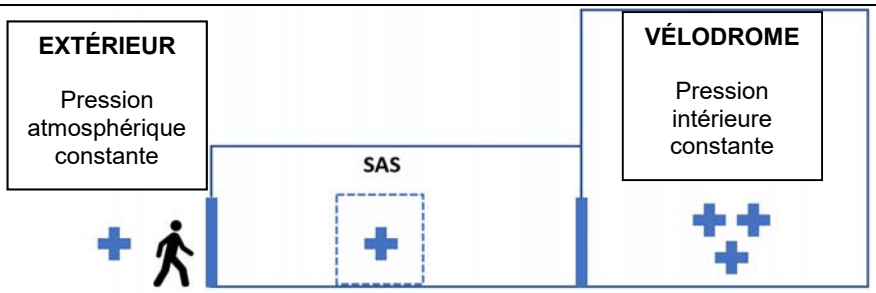
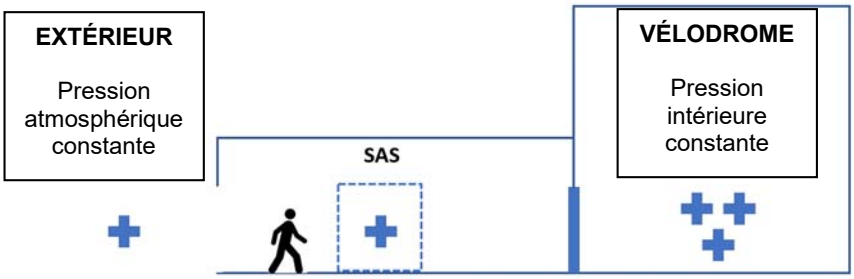
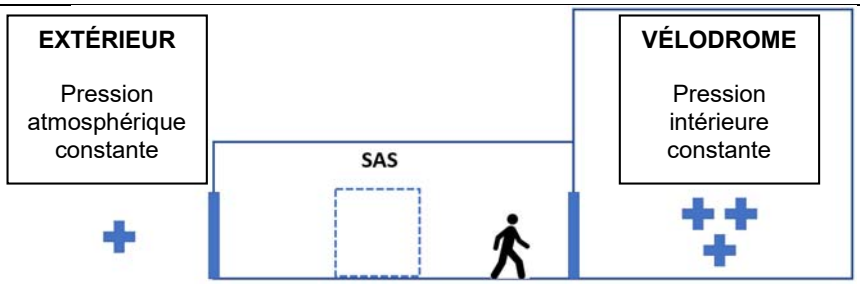
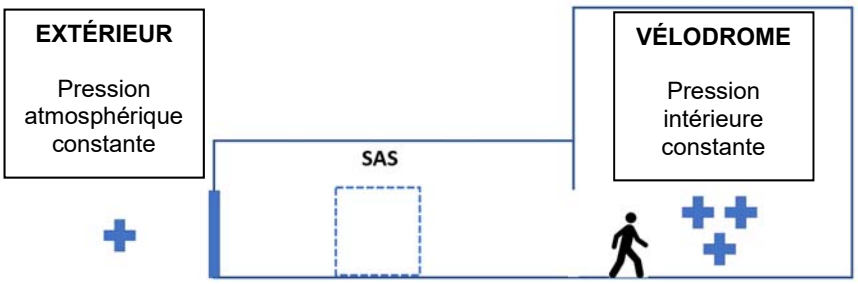
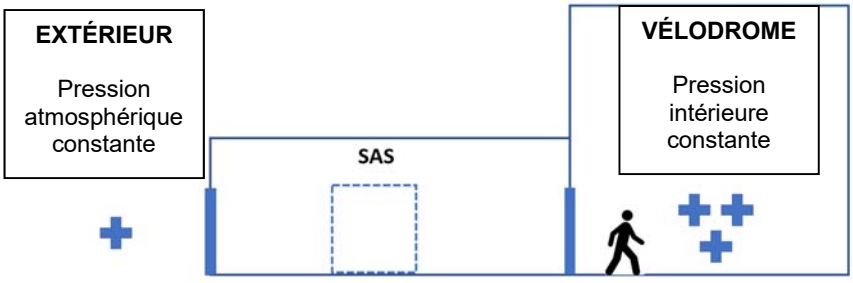
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Document réponses DR3 : fonctionnement d'un sas technique



Légende :

SITUATION INITIALE	
ÉTAPE 1 : ENTRÉE SAS TECHNIQUE	
ÉTAPE 2 : FERMETURE DU SAS TECHNIQUE	
ÉTAPE 3 : ENTRÉE DANS LE VELODROME	
ÉTAPE 4 : FERMETURE DU SAS TECHNIQUE	

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

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							

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

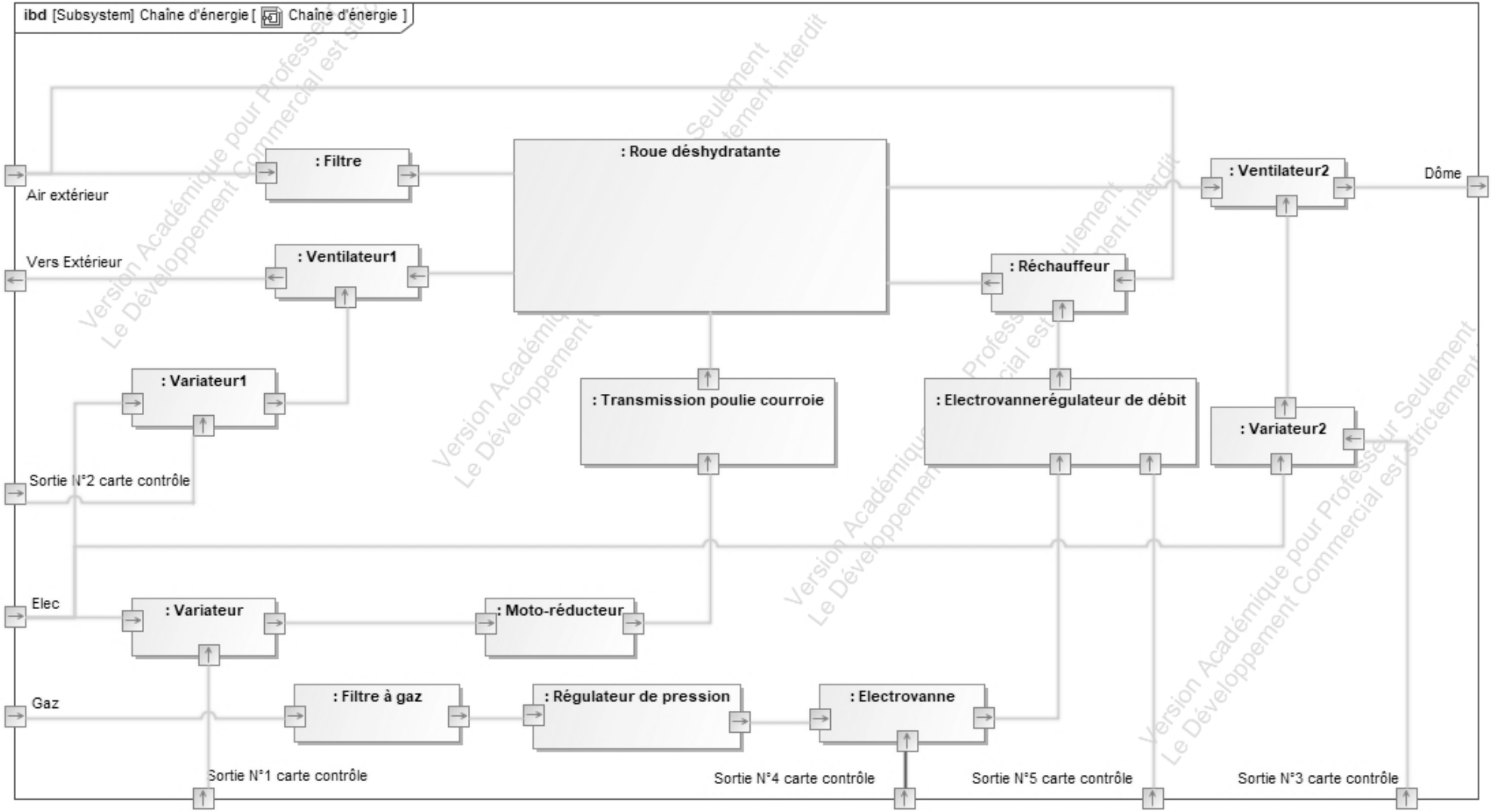
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

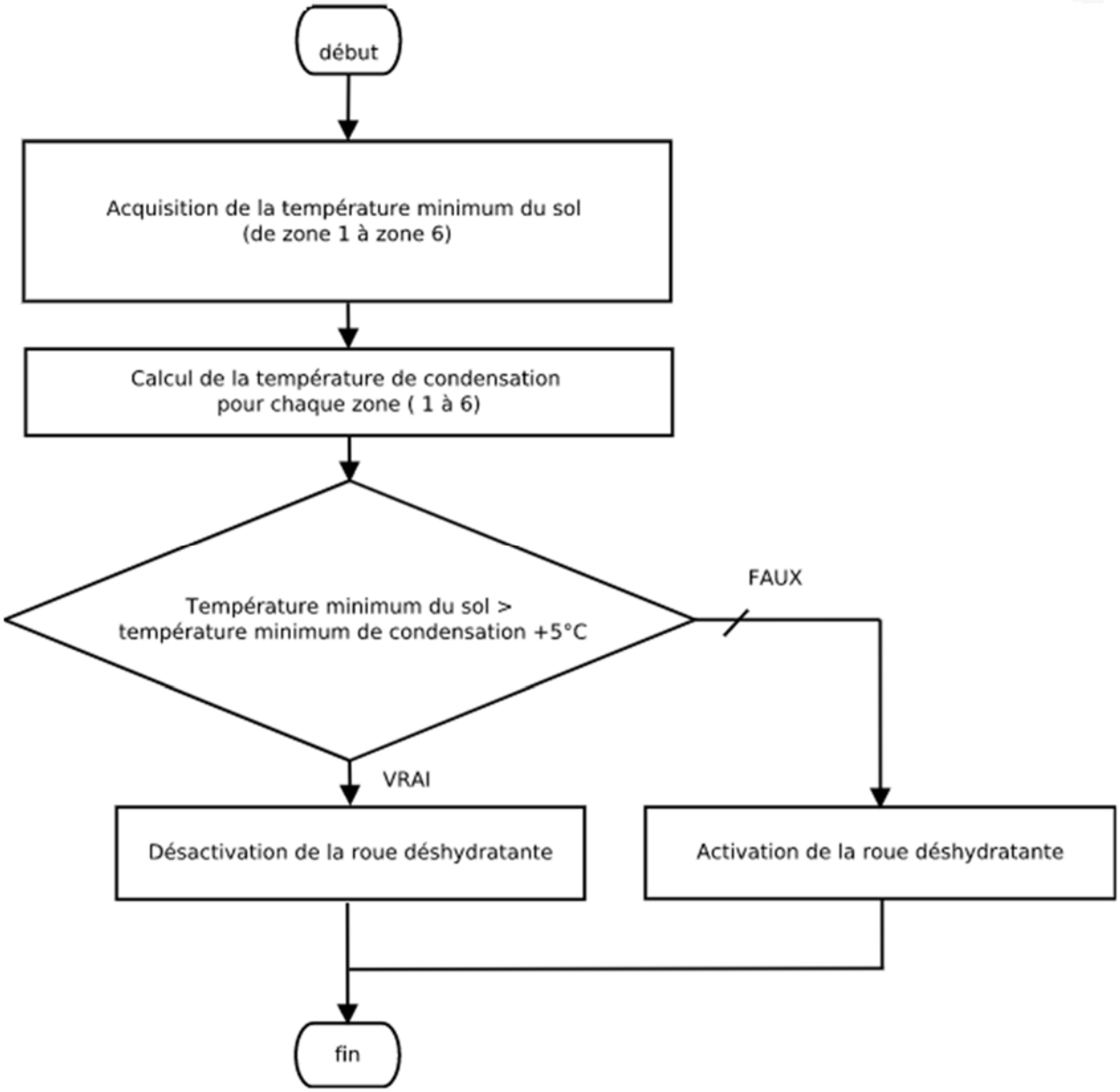
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Document réponses DR6 : algorigramme



	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)			

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

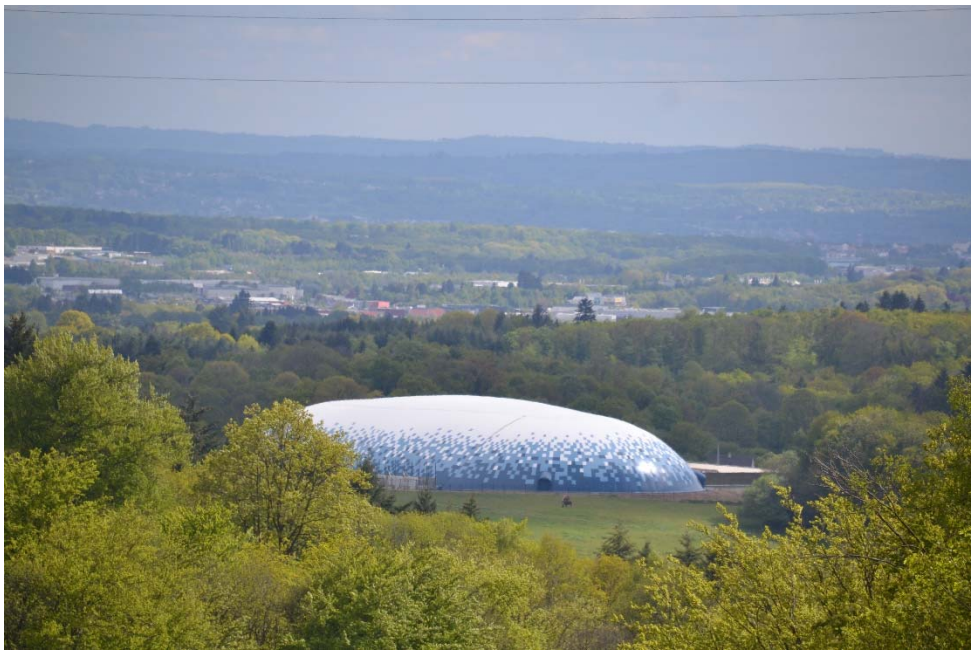
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

PARTIE enseignement spécifique (1,5h) ..... 8 points

Architecture et construction

VÉLODROME RAYMOND POULIDOR



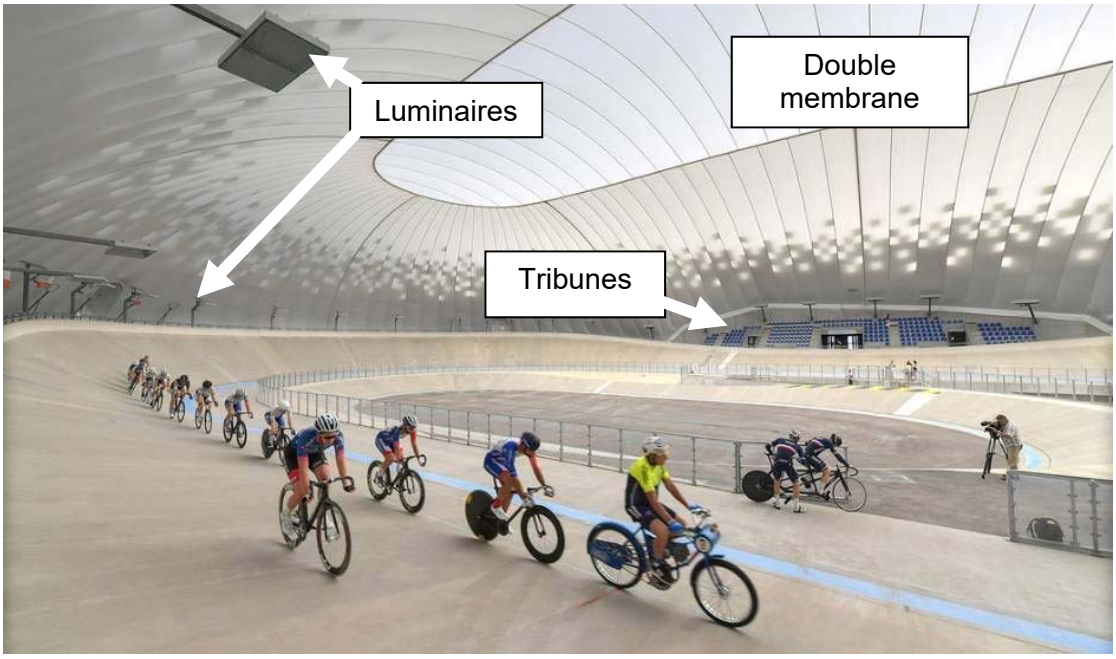
- Présentation de l'étude et questionnement ..... pages 26 à 34
- Documents techniques DTS1 à DTS4 ..... pages 35 à 37
- Documents réponsesDRS1 à DRS4 ..... pages 38 à 40

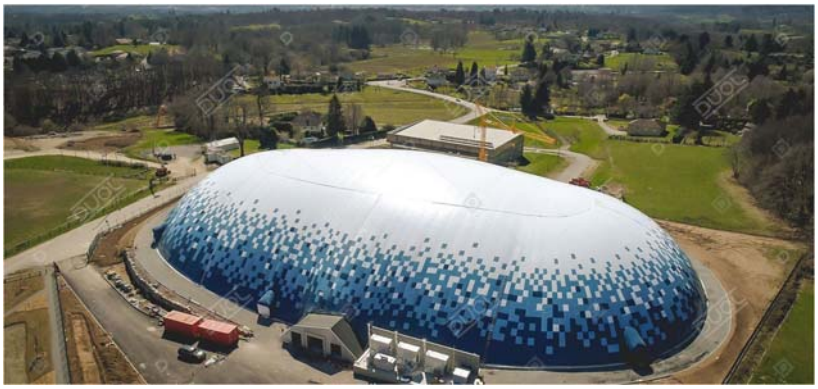
Mise en situation

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.





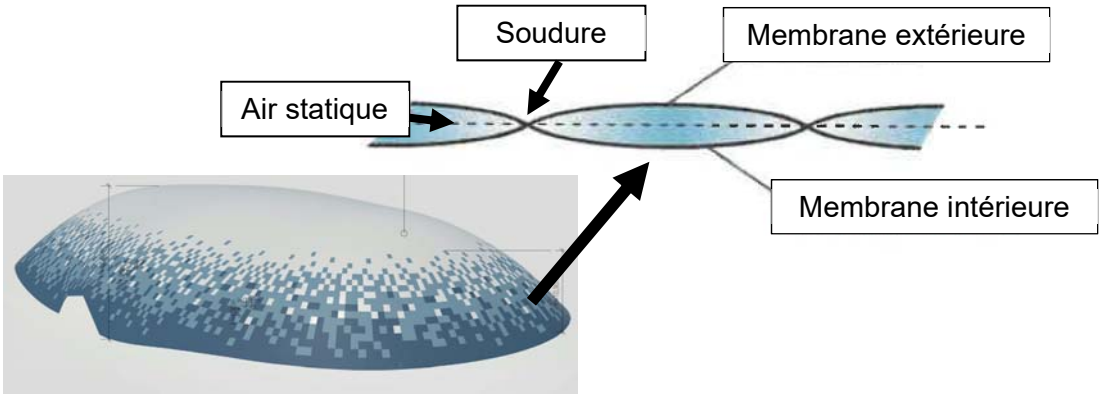
Cette structure gonflable est une solution innovante et économique qui assure la sécurité et le confort des usagers.

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 :

- $R_{totale\ paroi} = Rsi + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + Rse$
  - Rsi (Résistance superficielle intérieure) = 0,13 m²·K·W^{-1}
  - Rse (Résistance superficielle extérieure) = 0,04 m²·K·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 éclairement 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 :

- $E_{intérieur} = E_{extérieur} \times TL_{total}$
  - $E_{extérieur}$ = 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_{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 (règlementation 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 $m^3 \cdot h^{-1}$ soit Q_v = 6,67 $m^3 \cdot s^{-1}$.

Question B.2	En sachant que la masse volumique de l'air ρ_{air} = 1,292 $kg \cdot m^{-3}$, **convertir** le débit Q_v en $kg \cdot s^{-1}$ (on notera ce débit Q_m).

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

- $D_{air\ neuf}$ (Watts) = Q_m x Cp x ΔT
  - Q_m : débit en $kg \cdot s^{-1}$
  - Cp : capacité thermique massique de l'air (1004 $J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$)
  - ΔT : écart entre la température intérieure et la température extérieure de référence en hiver en °C.

Question B.3	**Calculer** les déperditions thermiques liées à l'apport d'air neuf extérieur $D_{air\ neuf}$.

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.

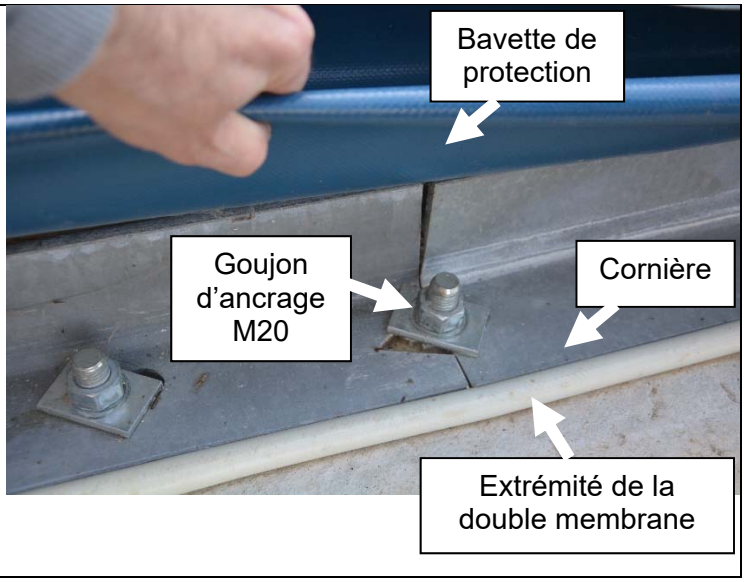
Question B.5 DTS3	**Conclure** sur le choix de la puissance thermique utile maximale du générateur d'air chaud indiquée dans le DTS3.

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.



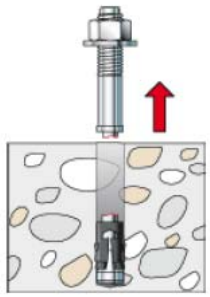
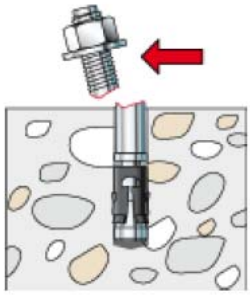
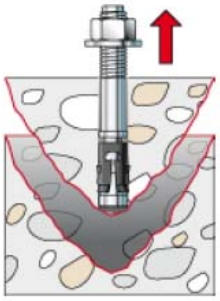


Le bureau d'études structure a déterminé les composantes de la force maximale $\vec{F}$ appliquée sur un goujon d'ancrage au point A (DRS3) :

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

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 cm²	0,785 cm²	1,13 cm²	2,01 cm²	3,14 cm²	4,52 cm²
As : Aire de la section droite de la partie filetée (fond de filet)	0,366 cm²	0,580 cm²	0,843 cm²	1,157 cm²	2,46 cm²	3,53 cm²
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 :

- $F_{t,max} = \frac{0,9 \cdot fu \cdot As}{\gamma}$; pour ce cas, le coefficient de sécurité γ = 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 Ft 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 :

- $A = \sum S_i \times \alpha_i$
  - i représente chaque matériau intérieur apparent dans le vélodrome ;
  - A : aire d'absorption équivalente en m² ;
  - 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 ($Tr_{exigé} < 1,3$ s) pour éviter un effet de brouillage.

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

- $Tr_{250\ Hz} = \frac{0,16 \cdot V}{A}$
  - Tr : Temps de réverbération en secondes
  - V : Volume du vélodrome (97 520 m^3)
  - A : Aire d’absorption équivalente en m². On admet A = 8 300 m².

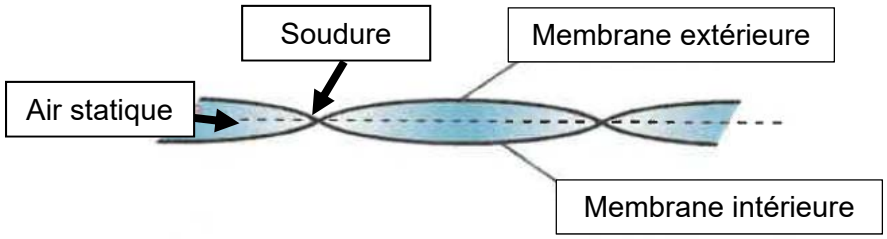
Question D.3	**Calculer** le temps de réverbération du vélodrome.

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



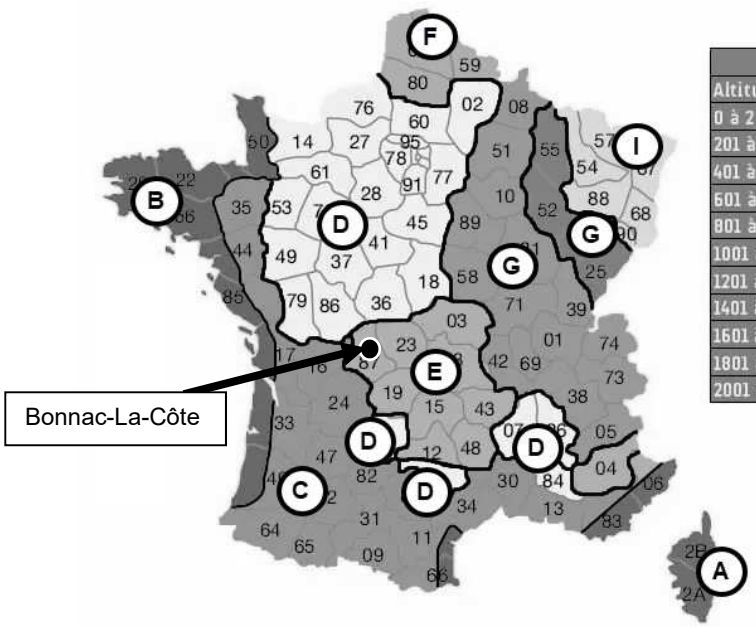
Les deux membranes extérieures et intérieures sont constituées d'un tissu en fibres de polyester renforcé par un enduit PVC.



	Membrane extérieure	Membrane intérieure
Traitement anti-UV	OUI	NON
Épaisseur	1 mm	
Conductivité	0,16 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	
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 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Épaisseur considérée	10 cm

Document technique DTS2 : températures extérieures de base en France



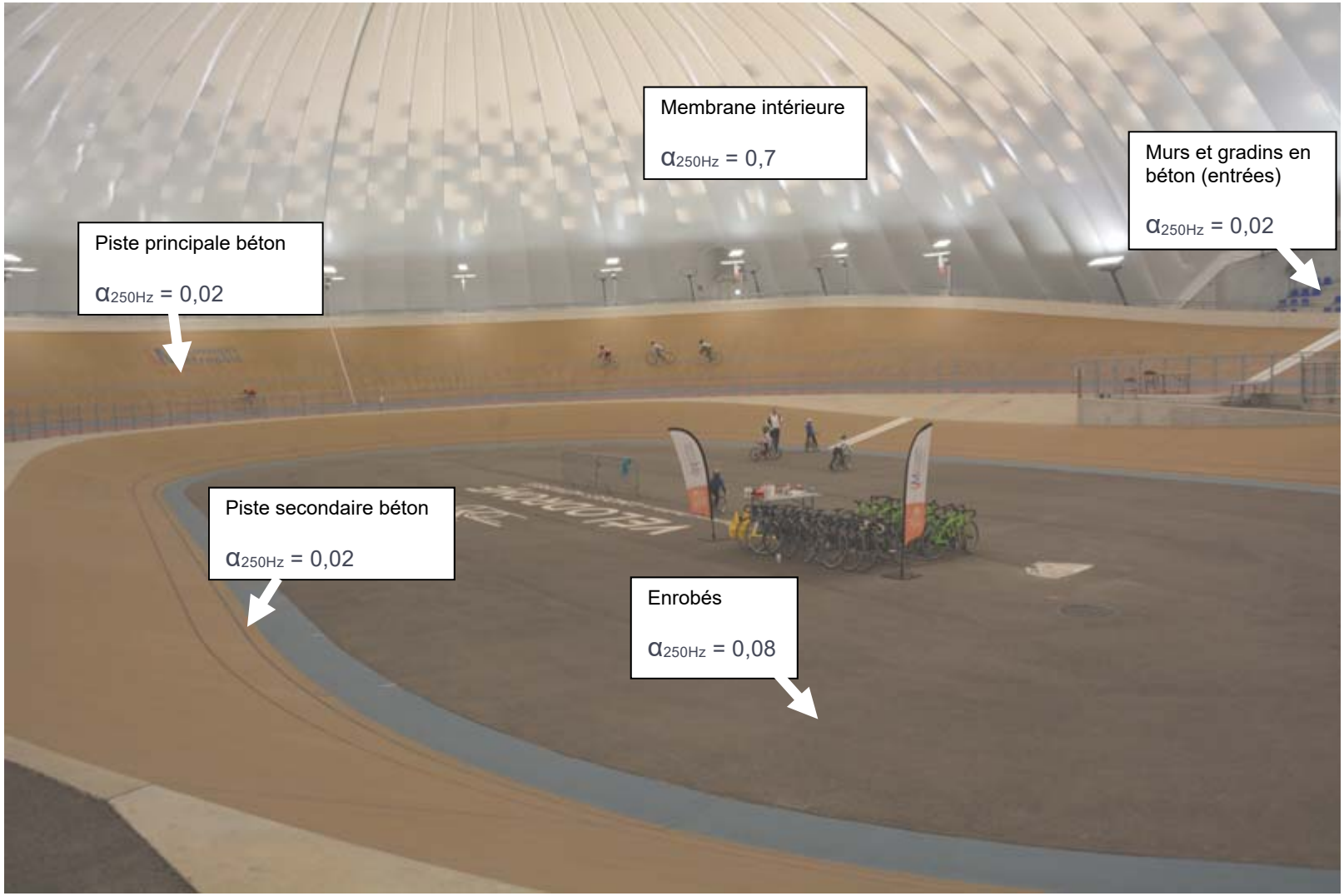
	Zone								
Altitude	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0 à 200m	– 2	– 4	– 5	– 7	– 8	– 9	– 10	– 12	– 15
201 à 400m	– 4	– 5	– 6	– 8	– 9	– 10	– 11	– 13	– 15
401 à 600m	– 6	– 6	– 7	– 9	– 11	– 11	– 13	– 15	– 19
601 à 800m	– 8	– 7	– 8	– 11	– 13	– 12	– 14	– 17	– 21
801 à 1000m	– 10	– 8	– 9	– 13	– 15	– 13	– 17	– 19	– 23
1001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



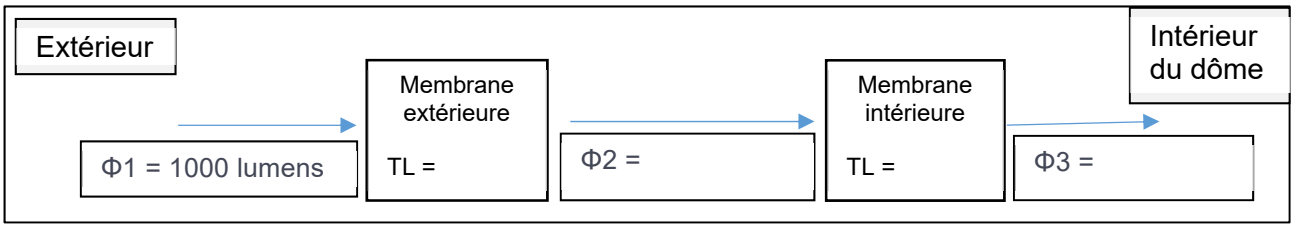
Modèle		PKE100			PKE120			PKE140			PKE190		
Classe de NOx		4 - 5 avec BRÛLEURS À GAZ LOW NOx											
		MIN	>91%	MAX	MIN	>91%	MAX	MIN	>91%	MAX	MIN	>91%	MAX
Débit calorifique foyer	kW	68,5	100,5	110,7	68,5	100,5	137,0	96,0	131,4	195,0	115	202,5	230,0
Puissance thermique utile	kW	64,4	91,9	90,7	64,3	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
Pertes cheminée brûleur en marche	%	6,0	8,6	12,3	6,0	8,6	12,3	6,0	8,6	12,3	6,0	8,8	10,5
Pertes cheminée brûleur à l'arrêt	%	< 0,1			< 0,1			< 0,1			<0,1		
Pertes boîtier	%	1,81			1,46			1,26			1,16		
Pression chambre de combustion	Pa	14	30	40	14	30	40	13	28	50	10	32	40
Volume chambre de combustion	m^3	0,37			0,24			0,37			0,52		

Document technique DTS4 : coefficients d'absorption des revêtements du vélodrome pour 250 Hz



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 °C	Surface en m²	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)				$D_{ponts\ thermiques}$ =	……
Air neuf				$D_{air\ neur}$ =	……

TOTAL	……

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

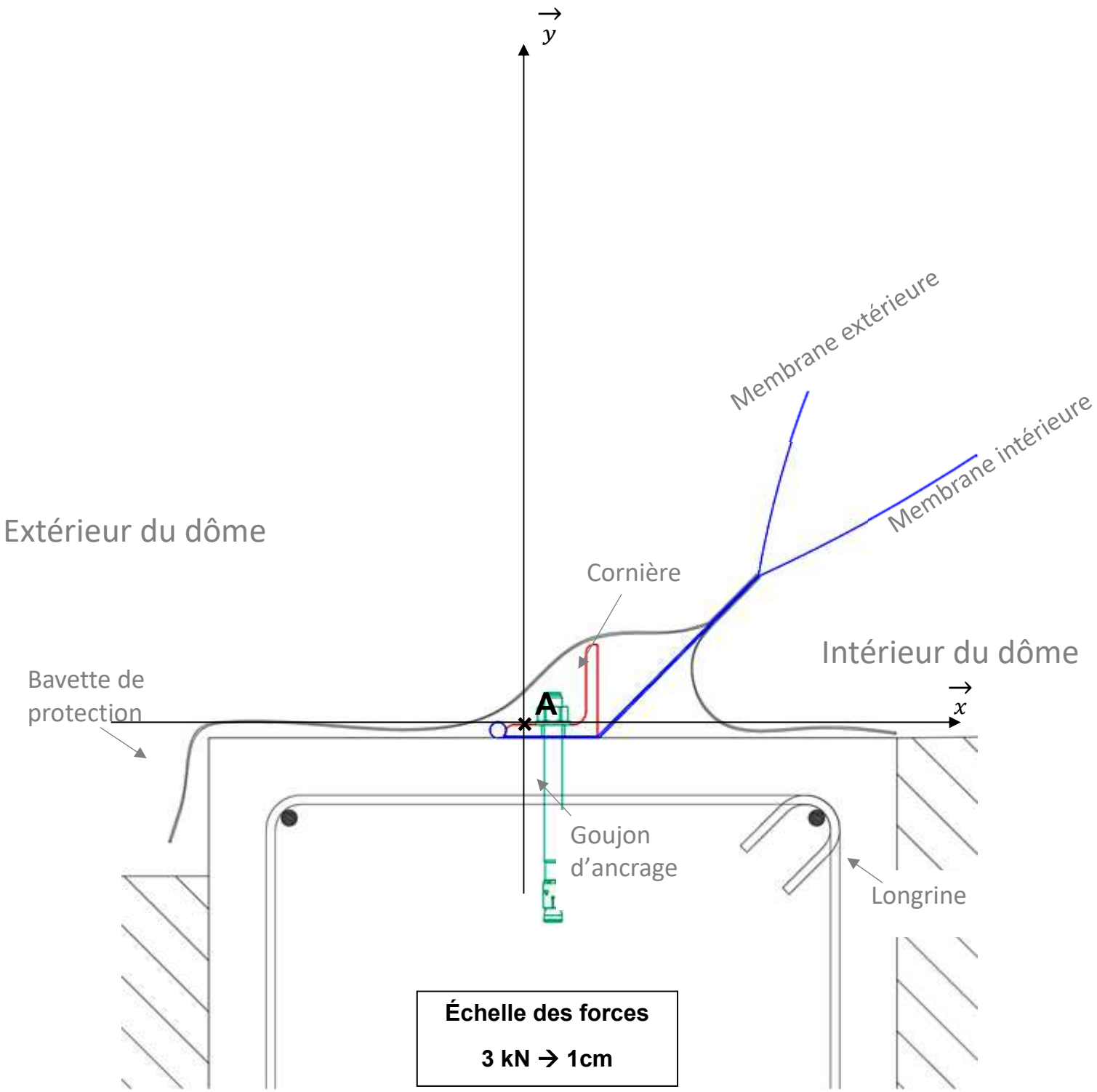
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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)	……

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.