

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D

ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

EPREUVE DU MARDI 17 JUIN 2014

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée

Baccalauréat Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable – STI2D	Session 2014
Enseignements technologiques transversaux	Code : 14ET2DMLR1 Page 0 / 21

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

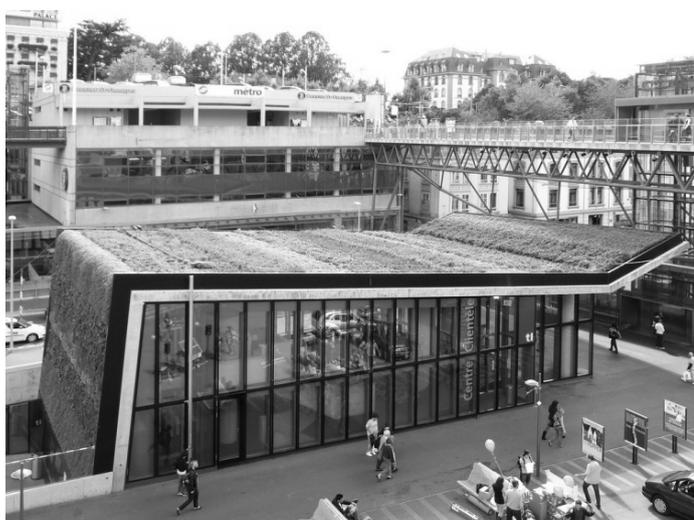
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D

ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée



Étude de la végétalisation de la gare M2 LAUSANNE - FLON

- **Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
 - **Mise en situation** page 2
 - **Partie 1 (1 heure)** pages 3 à 4
 - **Partie 2 (3 heures)** pages 5 à 9
- **Documents techniques** pages 10 à 16
- **Documents réponses** pages 17 à 21

- Le sujet comporte **deux parties indépendantes** qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.
- **Les documents réponses DR1 à DR7 (pages 17 à 21), complétés ou non, seront à rendre avec les feuilles de copie.**
- Rédiger sur feuilles de copie quand il n'est pas précisé de compléter un document réponse.

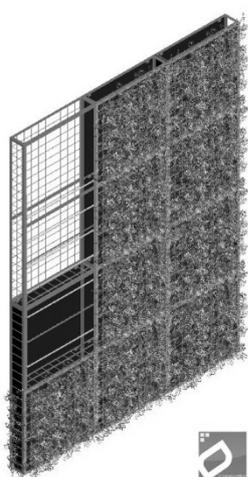
Mise en situation

La ville de Lausanne, en Suisse, a lancé depuis une dizaine d'années un programme de réhabilitation du quartier Flon. Au cœur de ce quartier de 55000 m² se croisent des lignes ferroviaires (nationales et régionales), des lignes de bus ainsi qu'une nouvelle ligne de métro pour laquelle la gare M2 a été construite (voir DT1).

Les travaux réalisés ont également conduit à la réorganisation de l'espace public alentour et à la refonte des circulations piétonnes et routières pour améliorer le cadre de vie.

La maîtrise d'œuvre du projet est assurée par les cabinets d'architectes Bernard Tschumi Architects (Paris et New-York) et Merlini et Ventura (Lausanne). Ils ont fait appel à la société Canevaflor (Lyon) pour réaliser la végétalisation de la gare M2.

La société Canevaflor conçoit et développe une solution de murs végétalisés présentant des caractéristiques décrites sur le document DT2.



Structure d'un mur végétalisé

La solution Canevaflor consiste en une structure modulaire en acier mécano-soudée (*gabion*) contenant un substrat permettant le développement optimal de la végétalisation. Chaque structure possède un format standard de **200 x 100 x 20 cm**.

L'exploitation d'un mur végétalisé requiert une maîtrise de l'irrigation des végétaux et de la fertilisation du substrat pour garantir l'efficacité du mur.

L'assemblage du mur et la plantation sont réalisés directement sur site ce qui permet un type de plantation spécifique à chaque projet.

L'étude proposée comporte deux parties :

- la partie 1 consiste à valider les performances des murs végétalisés au regard de standards de construction intégrant les exigences du développement durable ;
- la partie 2 vise à identifier les réductions du coût d'exploitation de murs végétalisés grâce à l'utilisation de solutions innovantes.

On rappelle que ces deux parties de l'étude sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

PARTIE 1. VALIDATION DU CHOIX D'INTÉGRATION D'UN MUR VÉGÉTALISÉ POUR LA GARE M2 LAUSANNE – FLON

Le point de convergence du projet urbain de rénovation du quartier Flon est la nouvelle gare M2. Afin de respecter les normes de construction relatives au standard Minergie (voir DT3), les architectes envisagent notamment l'emploi de murs végétalisés.

L'objectif de cette première partie est de valider cette solution d'un point de vue développement durable. L'étude ne portera que sur la façade Est du bâtiment.

✓ Analyse de la plus-value apportée par l'emploi de murs végétalisés

Question 1.1 On s'intéresse dans un premier temps à l'impact sur la population de ce choix architectural. **Compléter** le *tableau 1* après l'avoir reproduit sur feuille de copie (attention : on peut trouver plusieurs croix par ligne).
Voir DT2

Plus-value apportée par l'emploi de murs végétalisés	Bénéficiaire		
	Gérant	Riverain	Usager
Réduire la pollution		X	
Limiter le bruit transmis			
Réguler la température			
Limiter le bruit réfléchi			

Tableau 1 : plus-values des murs végétalisés (à reproduire sur feuille de copie).

Question 1.2 **Indiquer** sous quelle forme est exprimé l'objectif du standard Minergie. **Indiquer** la valeur limite de cette exigence dans le cas de la gare M2 et **expliquer** de manière simple sa signification.
Voir DT3

✓ Analyse des performances thermiques du mur

Pour valider les performances énergétiques du mur végétalisé, le bureau d'étude utilise un logiciel de simulation thermique qu'il est nécessaire de paramétrer.

Question 1.3 **Compléter** sur le document DR1 les données du modèle de comportement thermique de la façade Est.
Voir DT1, DT4, DT5
Utiliser DR1

Question 1.4 Parmi les paramètres d'entrée, **identifier** en les entourant en vert sur le DR2 les paramètres externes et en bleu les paramètres internes du modèle.
Utiliser DR2

Question 1.5 **Indiquer** pour chaque paramètre interne si sa valeur doit être maximisée ou minimisée pour obtenir une isolation thermique optimale.
Utiliser DR2

Le modèle de comportement thermique permet de déterminer par simulation les températures à travers les couches de l'enveloppe du mur végétalisé.

La solution d'isolation utilisant un mur végétalisé comprend 4 couches (voir DT1). Pour justifier ce choix, on souhaite comparer les impacts environnementaux de cette solution et d'une solution plus traditionnelle à 2 couches (béton armé + mousse polyuréthane PU).

Pour cela il est nécessaire de déterminer l'épaisseur qu'aurait la solution à 2 couches ayant le même niveau de performance que la solution à 4 couches.

Question 1.6 Sur le document DR3, **déterminer** par traçage la valeur de l'épaisseur d'isolant type mousse PU permettant une performance d'isolation thermique à 2 couches (béton armé + mousse PU) équivalente à la solution à 4 couches (mur végétalisé).
Voir DT1
Utiliser DR3

✓ Synthèse PARTIE I

Question 1.7 **Justifier**, dans une approche de développement durable, le choix de la solution de mur végétalisé par rapport à une solution classique d'isolation (avec un isolant de type mousse PU seul) à l'aide des documents DT4 et DT6.
Voir DT4, DT6
Rédiger votre argumentaire sur feuille de copie, en y incorporant des données chiffrées pertinentes.

PARTIE 2. SYSTÈME DE MICRO IRRIGATION PILOTÉE

La mise en œuvre de la solution proposée par la société Canevaflor représente un surcoût à l'installation par rapport à une solution traditionnelle. Afin de compenser ce surcoût initial, plusieurs solutions innovantes sont intégrées au mur pour en réduire les coûts d'exploitation.

Question 2.1 Selon le standard Minergie, **relever** quel doit être le surcoût financier maximum de la solution Canevaflor par rapport à une construction traditionnelle.
Voir DT3

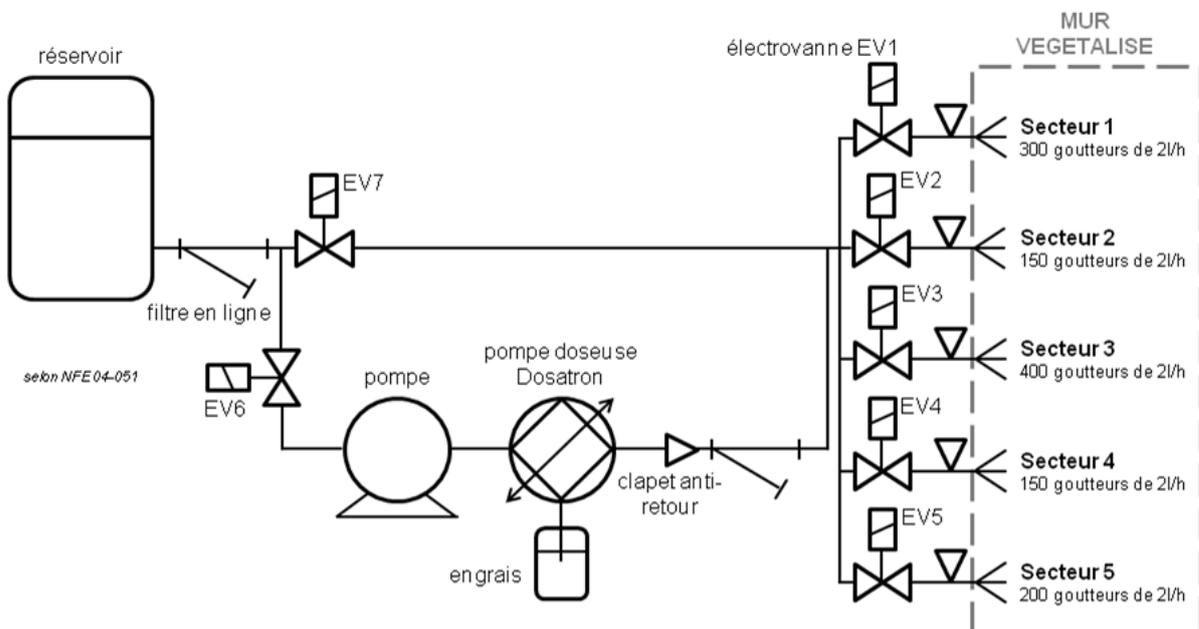
✓ Réduction de la consommation énergétique par irrigation et fertilisation autonomes

L'objectif de cette partie est de valider et dimensionner le système autonome d'irrigation et de fertilisation.

La toiture de la gare M2 est entièrement recouverte de terre où quatre variétés de plantes indigènes se développent (*ibéris*, *lierre*, *waldsteinia* et *alchémies*). Leur développement requiert :

- une irrigation en eau claire ;
- un apport en fertilisant (engrais) adapté à chaque variété de plantes.

Le schéma hydraulique du système d'irrigation est donné ci-dessous :



Question 2.2 **Identifier** l'électrovanne pilotant le *circuit d'eau claire* ainsi que celle pilotant le *circuit d'eau fertilisée*.
Voir schéma hydraulique

Question 2.3 **Identifier** le composant assurant le dosage d'engrais.
Voir schéma hydraulique

Question 2.4 **Repérer** sur le document DR4, en l'entourant en vert sur le diagramme de blocs interne, l'énergie de fonctionnement du Dosatron.
Utiliser DR4
Justifier la pertinence de l'utilisation d'une telle énergie.

Dans une approche de développement durable et de réduction des coûts d'exploitation, la maîtrise d'œuvre a proposé de *recupérer l'eau de pluie dans un réservoir* afin d'irriguer le mur végétalisé. On se propose à présent de valider cette solution.

Pour cela, le bureau d'étude a conçu une démarche de vérification pouvant être décrite par l'algorithme du document DR5. Cet algorithme permet, pour une durée d'un mois, de :

- calculer la quantité d'eau de pluie minimale récupérable par la toiture de la gare ;
- calculer la quantité d'eau qui ne sera pas absorbée par les plantes de la toiture ;
- vérifier si la quantité d'eau de pluie disponible est suffisante pour l'irrigation autonome du mur (c'est-à-dire sans apport complémentaire d'eau).

Question 2.5 **Compléter** littéralement sur le document DR5 l'algorithme de validation d'une irrigation autonome en utilisant tout ou partie des paramètres donnés dans le document DT5.
Voir DT5
Utiliser DR5

Question 2.6 **Exprimer** littéralement la « CONDITION D'IRRIGATION AUTONOME » sur l'algorithme.
Utiliser DR5

Question 2.7 **Réaliser** l'application numérique relative à la question précédente. **Conclure** quant à la possibilité d'une irrigation autonome du mur.
Voir DT5
Utiliser DR5

Le bureau d'étude souhaite alors vérifier s'il est possible d'alimenter, grâce au réservoir de stockage de l'eau de pluie, le système de fertilisation Dosatron sans avoir recours à une pompe d'alimentation garantissant la pression nécessaire à son bon fonctionnement.

La société Dosatron fournit la méthode de calcul suivante pour réaliser un choix dans sa gamme de pompes doseuses en fonction du débit d'irrigation requis :

Calcul du débit minimum : multiplier le nombre de goutteurs sur le plus petit secteur par le débit unitaire en litres par heure.

Calcul du débit maximum : multiplier le nombre de goutteurs de tous les secteurs par le débit unitaire en litres par heure.

Estimation des pertes de charges : prendre en compte le débit du secteur le plus grand.

(source : extrait du manuel de formation « irrigation » Dosatron)

Question 2.8 **Justifier** à l'aide de cette méthode de calcul, le choix de la gamme D3 pour assurer la fertilisation du mur.
Voir DT7 et schéma hydraulique

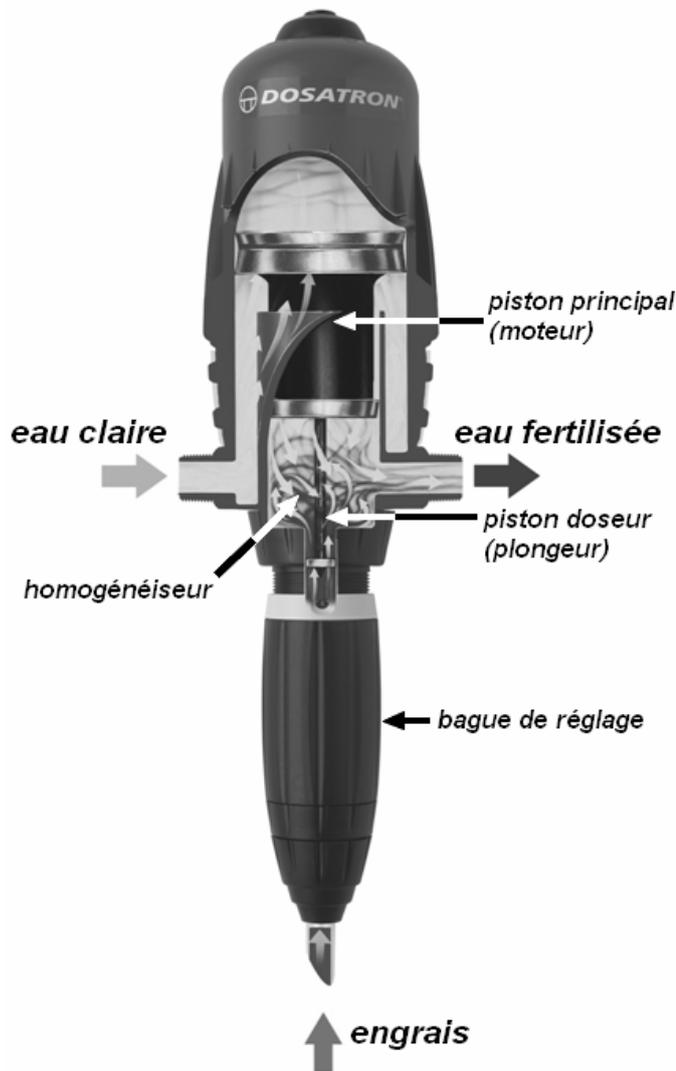
Question 2.9 **Évaluer** sur le document DR7 les pertes de charges dans le cas le plus défavorable de consommation réelle et de pression.
Utiliser DR7

Question 2.10 **Justifier** la présence d'une pompe d'alimentation en amont de la pompe doseuse Dosatron dans le circuit d'irrigation (on prendra comme référence une pression minimale en sortie de réservoir de 1,7 bar).
Voir schéma hydraulique page 5 et DT7

✓ Fertilisation de la plantation : choix d'une pompe doseuse

L'objectif de cette partie est de vérifier le dimensionnement de la pompe doseuse Dosatron D3 en fonction de ses conditions d'exploitation.

Le principe de fonctionnement schématique de la pompe est donné ci-dessous.



La pompe doseuse Dosatron est composée de deux parties :

LA PARTIE « MOTEUR HYDRAULIQUE »

Le **piston principal (moteur)** se déplace verticalement grâce à la pression d'eau. À chaque cycle du piston moteur correspond un volume d'eau fixe traversant la pompe (**cylindrée moteur**).

LA PARTIE « DOSAGE »

Le **piston doseur (plongeur)**, entraîné par le piston moteur, injecte une quantité constante d'engrais par cycle du piston moteur.

Ce principe garantit un dosage constant quelles que soient les variations de débit ou de pression.

L'injection de l'engrais est donc toujours proportionnelle au débit d'eau.

Question 2.11 **Compléter** le diagramme de définition de blocs du Dosatron (DR4) en inscrivant pour chaque composant la fonction qu'il réalise (parmi les fonctions intégrées données dans la notice constructeur DT7).
Voir DT7
Utiliser DR4

Question 2.12 Le matériau constitutif du piston doseur est le polypropylène. À l'aide du DT8, **identifier** à quel type de contrainte est soumis le plongeur. **Citer** deux caractéristiques principales de ce matériau.

Question 2.13 En analysant le résultat de la simulation statique par éléments finis et les données matériau, **indiquer** si la déformation du piston reste dans le domaine élastique. **Justifier** succinctement la réponse proposée.

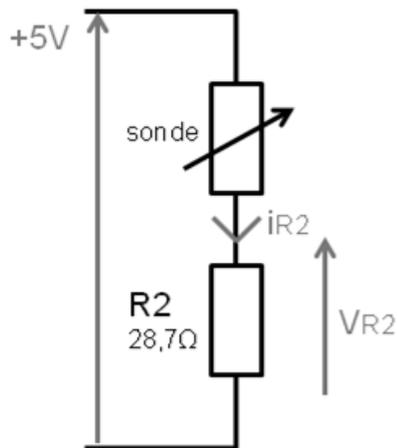
Question 2.14 **Identifier** les matériaux permettant d'obtenir de meilleurs résultats que le matériau actuel en fonction des conditions d'utilisation de la pompe. **Justifier** succinctement la réponse proposée.

✓ Gestion asservie de l'arrosage automatique

Le module qui exécute les programmes des cycles d'arrosage automatique est interfacé à différents capteurs, dont des sondes hygrométriques qui mesurent le taux d'humidité du substrat en différents points du mur (DT10).

Une sonde est assimilable à une résistance dont la valeur varie en fonction du taux d'humidité du substrat. Son principe de fonctionnement est celui d'un pont diviseur de tension.

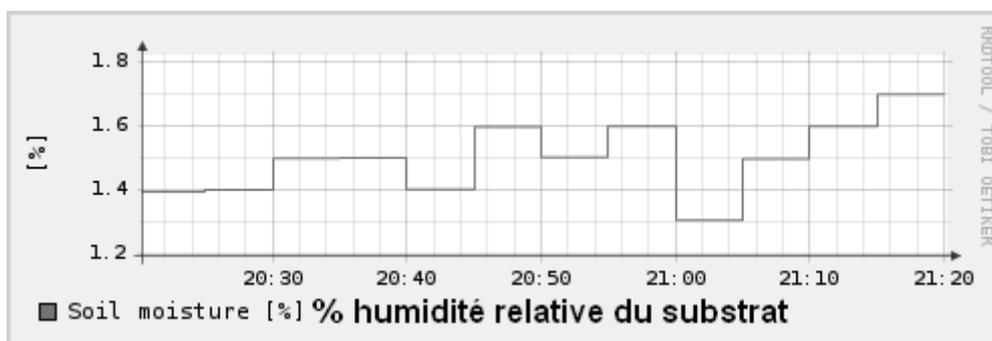
Le schéma de principe du conditionneur lié à la sonde ainsi que les données de calibration du capteur sont donnés ci-dessous :



i_{R2} (mA)	État de la Sonde	Taux d'humidité relative du substrat
0.2368	sèche	0 %
1.4000	mouillée	100 %

Tableau 2 : calibration d'une sonde hygrométrique.

Un exemple de relevé de données tirées d'une sonde hygrométrique, indiquant le taux d'humidité dans le substrat à différentes heures de la journée, est reproduit ci-dessous :

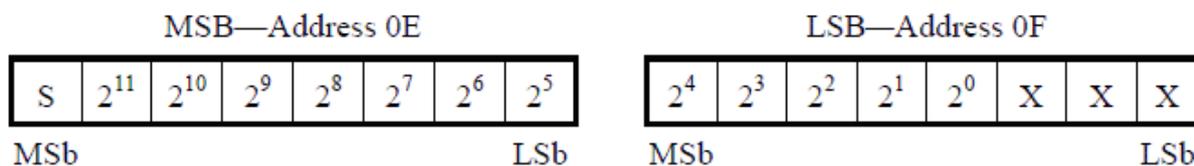


Question 2.15 En vous basant sur le relevé ci-dessus, **indiquer** quel était le taux d'humidité à 20h35.
Voir relevé des données sonde

Question 2.16 **Déterminer** la valeur de la tension V_{R2} pour les deux cas extrêmes d'un taux d'humidité relative de 0 % et de 100 % en appliquant la loi d'Ohm $V = R \cdot i$.
Voir Tableau 2

Au sein de chaque sonde hygrométrique se trouve un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui permet de convertir la valeur de la tension V_{R2} . Cette valeur est mémorisée dans un registre de la sonde concernée appelé *Current Register*.

On donne ci-dessous le format de ce registre :



Format du registre « *Current Register* ».

La tension est codée sur 13 bits : 12 bits sont alloués à la valeur absolue,
1 bit est alloué au signe (S = 0 pour une valeur positive).

La résolution du codage numérique de la tension est de 15,625 μ V par bit.

Question 2.17 **Vérifier** que le codage sur 13 bits est adapté pour convertir sous forme numérique la plage de tensions relevées par les hygromètres.

Question 2.18 **Indiquer**, pour le cas extrême d'un taux d'humidité relative de 100 %, la valeur mémorisée dans le « *Current Register* » puis **compléter** le registre sur le DR6.
Utiliser DR6

L'ensemble des sondes hygrométriques est connecté au programmeur par un bus qui lui permet de lire le contenu du registre « *Current Register* » (voir DT10).

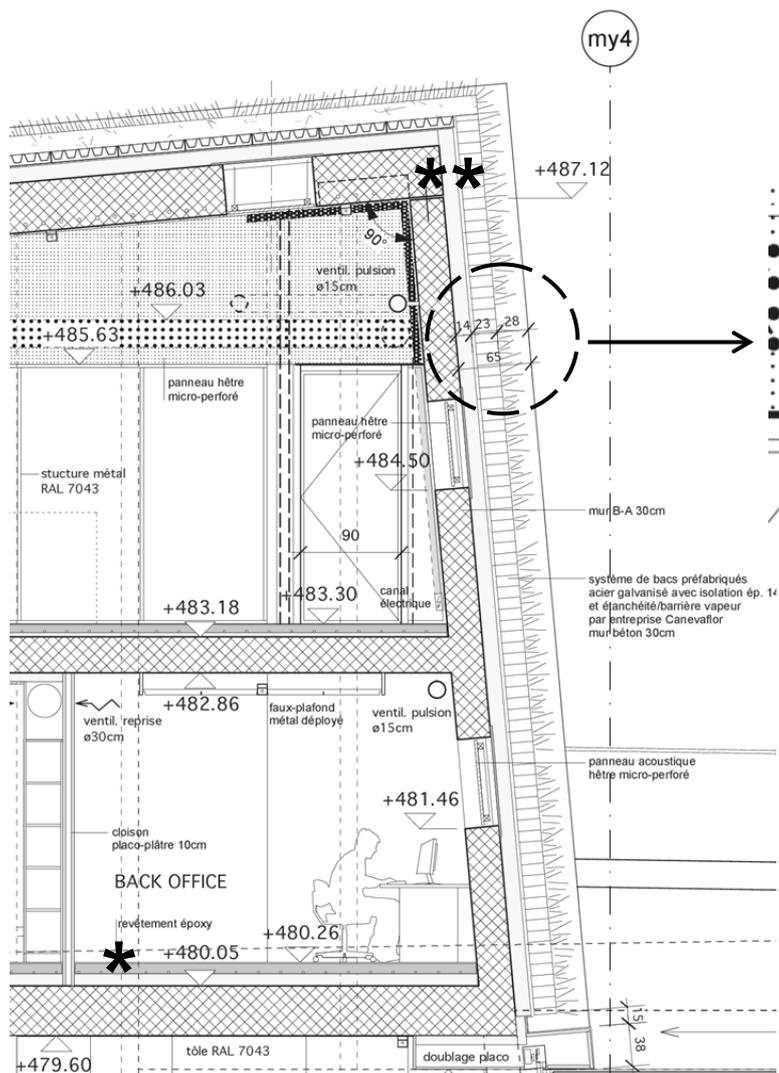
Question 2.19 **Identifier** s'il s'agit d'un bus parallèle ou série. **Justifier** votre réponse.
Voir DT10

Question 2.20 **Expliciter** les gains attendus par l'implantation d'une solution type bus.
Voir DT10

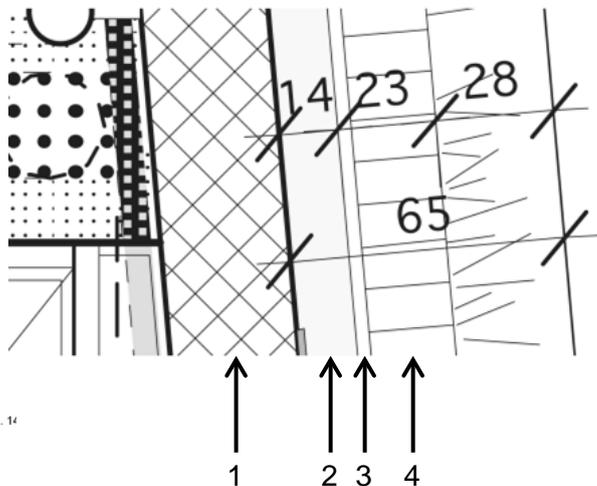
Synthèse PARTIE 2

Question 2.21 **Conclure** en indiquant brièvement en quoi les solutions innovantes étudiées dans cette partie participent à l'objectif visé de compensation du surcoût d'installation du mur végétalisé.

DT1 : Coupe transversale de la façade Est de la gare Lausanne – Flon



Enveloppe du mur végétalisé
(4 couches)



- 1 : Béton armé B-A (30 cm)
- 2 : Mousse polyuréthane PU
- 3 : Lamé d'air
- 4 : Substrat Canevaflor (20 cm)

** : altitude haute du mur
* : altitude basse du mur



Vue aérienne de la gare



Mur Façade Est
(largeur : 12,608 m)

DT3 : Extrait du standard Minergie® (www.minergie.ch)

Le standard MINERGIE® est un standard de construction facultatif qui permet une utilisation rationnelle de l'énergie et une mise en œuvre plus large des énergies renouvelables, tout en assurant une amélioration de la qualité de vie, une meilleure compétitivité et une diminution des atteintes à l'environnement.

Les exigences suivantes doivent être respectées :

- exigences primaires pour l'enveloppe du bâtiment ;
- renouvellement d'air contrôlé pendant l'année ;
- valeur limite MINERGIE® (indice énergétique pondéré) ;
- justificatif du confort thermique en été ;
- exigences supplémentaires suivant la catégorie de bâtiment : éclairage, froid industriel et production de chaleur ;
- surcoûts ne dépassant pas 10 % par rapport à des bâtiments conventionnels équivalents.

Pour MINERGIE® l'objectif est défini sous la forme d'une valeur limite de consommation d'énergie. Les approches possibles sont multiples. Il est important que l'ensemble du bâtiment soit considéré comme un système intégral : l'enveloppe avec les installations techniques.

Exigences MINERGIE® (Norme SIA 380/1:2009)

	Catégorie	Valeur limite MINERGIE (kW·h·m ⁻²)	Exigences primaires	Installation d'aération	Exigences supplémentaires
I	Habitat collectif	38 CL, EC, aér. él., *	$Q_h \leq 90 \%$ $Q_{h,li}$	obligatoire	Pas d'exigences Recommandation pour appareils électroménagers: étiquette énergie de classe A
II	Habitat individuel	38 CL, EC, aér. él., *	$Q_h \leq 90 \%$ $Q_{h,li}$	obligatoire	Pas d'exigences Recommandation pour appareils électroménagers: étiquette énergie de classe A
III	Administration	40 CL, EC, aér. él., *	$Q_h \leq 90 \%$ $Q_{h,li}$	obligatoire	Éclairage selon norme SIA 380/4
IV	Ecoles	40 RH, WW, aér. él., *	$Q_h \leq 90 \%$ $Q_{h,li}$	obligatoire	Éclairage selon norme SIA 380/4
V	Lieux de rassemblement	40 CL, EC, aér. él., *	$Q_h \leq 90 \%$ $Q_{h,li}$	obligatoire	Éclairage selon norme SIA 380/4
VI	Hôpitaux	70 CL, EC, aér. él., *	$Q_h \leq 90 \%$ $Q_{h,li}$	obligatoire	Éclairage selon norme SIA 380/4 Froid industriel
VII	Industrie	20 CL, EC, (aér. él.), *	$Q_h \leq 90 \%$ $Q_{h,li}$	conseillée	Éclairage selon norme SIA 380/4

Selon la catégorie de bâtiments, la valeur limite MINERGIE® comprend : CL = chauffage des locaux ; EC = eau chaude ; Aér. él. = électricité pour aération mécanique ; (Aér. él.) = une installation d'aération n'est pas obligatoire, mais seulement conseillée pour cette catégorie de bâtiment. La valeur limite MINERGIE® demeure inchangée, avec ou sans aération mécanique.

* = S'il existe une climatisation des locaux (réfrigération, humidification, déshumidification), la consommation d'énergie est comprise dans la valeur limite MINERGIE®.

Q_h : besoins de chaleur de chauffage (valeur de l'objet) ; $Q_{h,li}$: valeur limite pour les besoins de chaleur de chauffage selon la norme SIA 380/1.

Baccalauréat Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable – STI2D		Session 2014
Enseignements technologiques transversaux	Code : 14ET2DMLR1	Page 12 / 21

DT4 : Caractéristiques des matériaux d'isolation Source : SIA

Matériau	Masse volumique ρ kg·m ⁻³	Conductivité thermique λ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	Capacité thermique massique c J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	Énergie grise kW·h · m ⁻³
Lame d'air	1,23	0,045	1000	0
Béton armé B-A	2300	2,3	1000	430
Substrat : tourbe + perlite + fibre de coco (donnée Canevaflor)	250	0,09	900	329
Polyuréthane PU	35	0,029	1400	974

DT5 : Données climatiques pour la ville de Lausanne & paramètres d'irrigation

Données climatiques

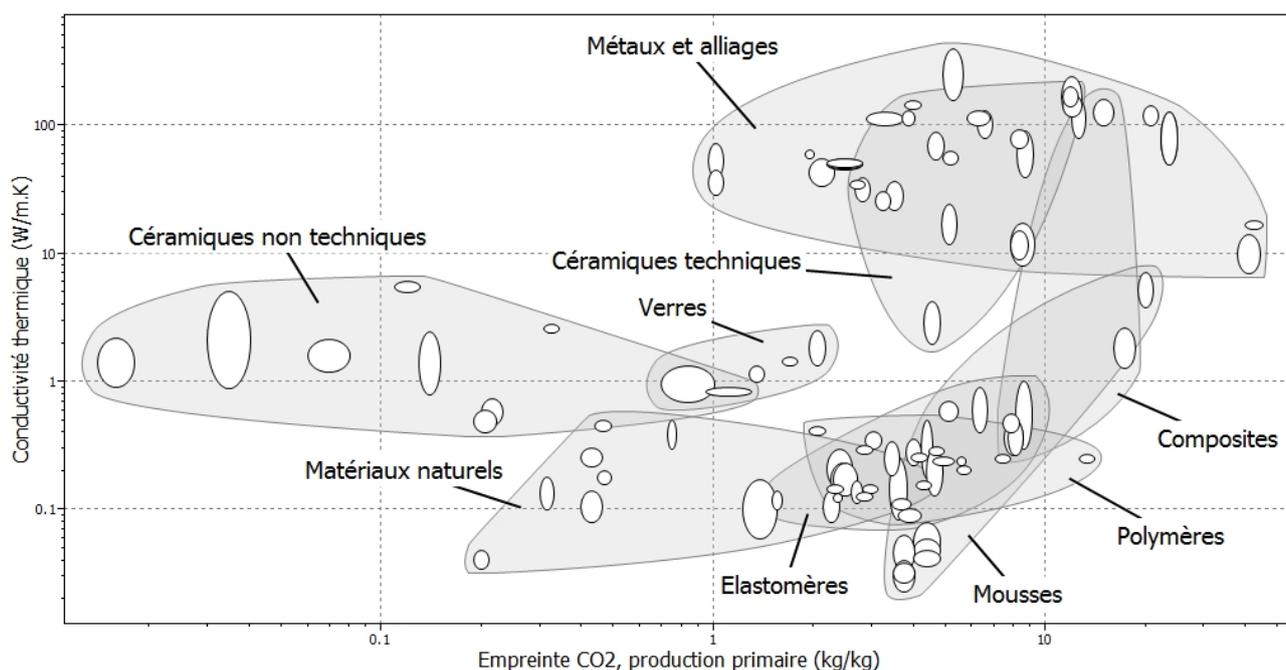
	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température de l'air, valeur moyenne, en °C	2,3	3,3	6,8	9,5	14,5	17,5	20,1	20,1	15,7	11,6	6,2	3,6	10,9
Température de l'air extrêmes, en °C	-8,5							31,7					
Précipitations, somme, en litre par m ²	81	71	71	91	112	122	97	101	127	117	104	82	1176

Source : SIA

Paramètres d'irrigation

	Symbole	Valeur numérique
Superficie du toit (m ²)	S_{toit}	365
Superficie du mur Est (m ²)	S_{mur}	89
Consommation en eau du mur (litre par m ² par an)	$Conso_{mur}$	120 (moyenne)
Capacité d'absorption du toit (litre par m ²)	$Capa_{toit}$	17

DT6 : Conductivité thermique et empreinte CO₂ pour production primaire



DT7 : Notice de la pompe doseuse Dosatron D3



DOSATRON®

WATER POWERED DOSING TECHNOLOGY

3
m³/h

GAMME D 3

PERFORMANCES

- Dosage réglable : **0.03 - 25 % ***
[1 : 3000 - 1 : 4]
- Débit d'eau** de fonctionnement : **10 l/h - 3 m³/h**
[0.16 l/min - 50 l/min]
[1/3 US Pint/min - 14 US GPM]
- Pression d'eau de fonctionnement : **0.3 - 6 bar**
[4.3 PSI - 85 PSI]
- Débit d'injection du produit concentré : **0.003 - 300 l/h ***
[0.017 FL.oz/min - 1.4 US GPM]

* selon modèle - voir modèles au verso
** Pour d'autres fluides moteur nous consulter

Q2.8

Q2.10

Q2.11

Une technologie unique intégrant toutes les fonctions du dosage

Technique de dosage :
Proportionnel sans électricité

Source d'énergie :
Débit et pression de l'eau

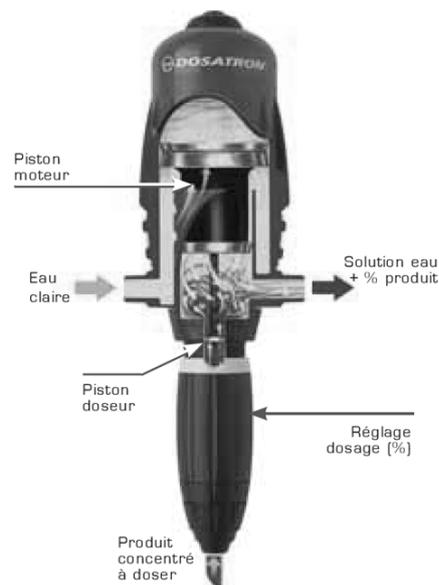
- Fonctions intégrées :**
- **M**esurer : moteur hydraulique volumétrique
 - **D**oser : injection proportionnelle en continu du concentré liquide ou soluble
 - **R**éguler : proportionnalité asservie au débit d'eau
 - **M**élanger : homogénéisation intégrée

Composition du colis :
1 Dosatron, 1 support mural,
1 tuyau d'aspiration, 1 manuel
d'utilisation et d'entretien

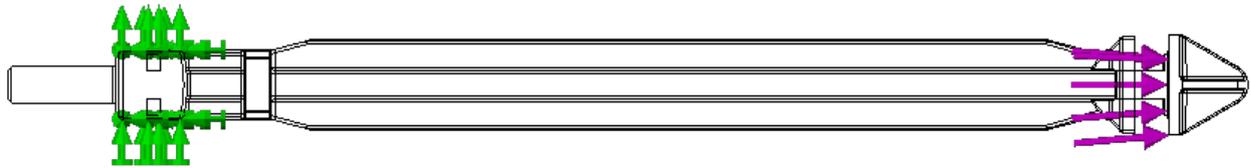


Principe de fonctionnement

Installé sur le réseau d'eau, le Dosatron utilise la pression d'eau comme seule force motrice. Ainsi actionné, il aspire le produit concentré, le dose au pourcentage désiré, puis le mélange avec l'eau motrice. La solution réalisée est alors envoyée en aval. La dose de produit injecté est toujours proportionnelle au volume d'eau qui traverse le Dosatron, quelles que soient les variations de débit ou de pression du réseau.



DT8 : Simulation par éléments finis du piston doseur (plongeur)

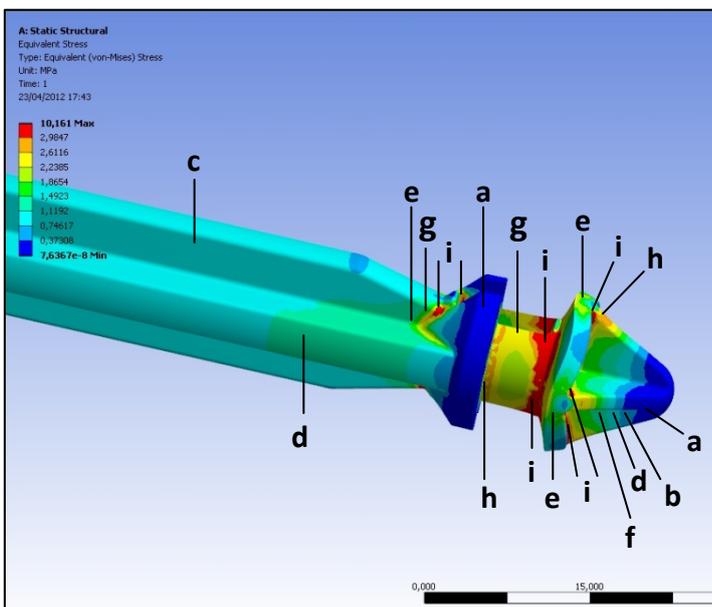
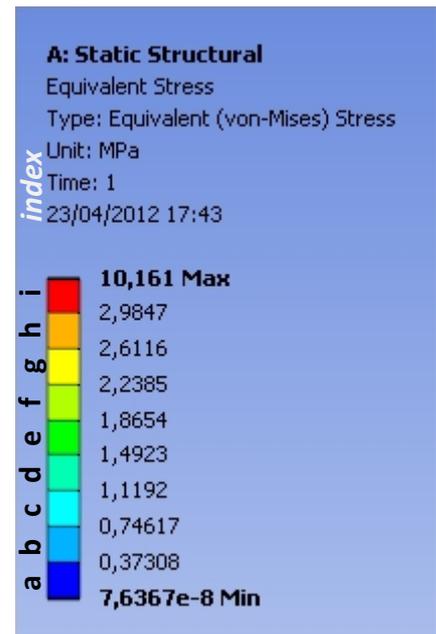
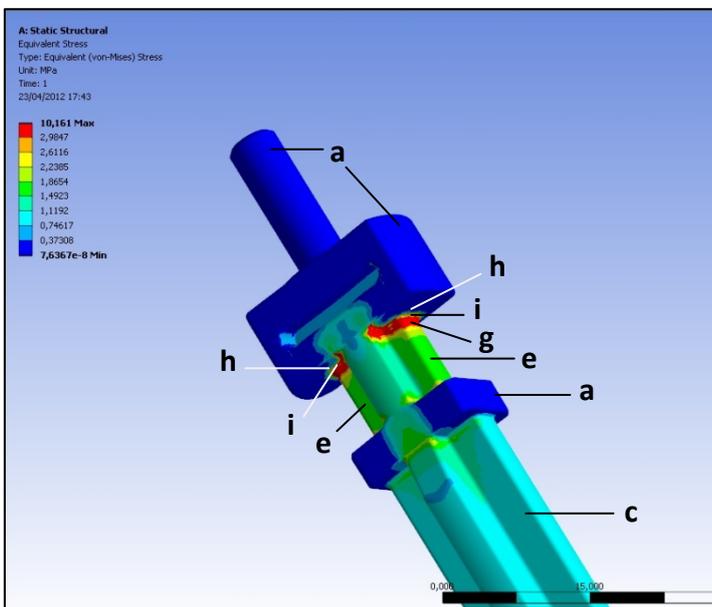


Conditions aux limites en phase d'aspiration de l'engrais :

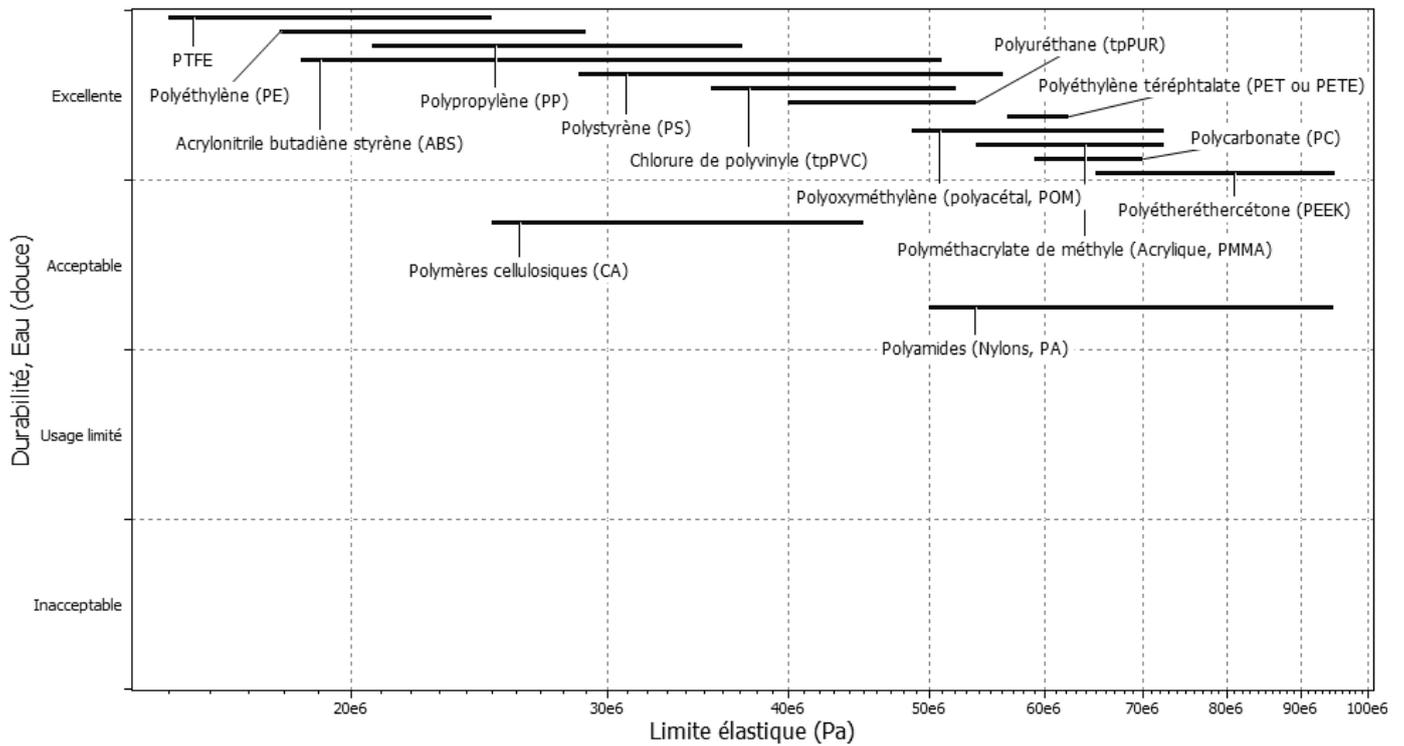
Nom d'étude	plongeur_sti2d (-Défaut-)
Nom du chargement	Fixe-1
Entités	2 face(s)
Type	Géométrie fixe
Identificateur	1

Nom d'étude	plongeur_sti2d (-Défaut-)
Nom du chargement	Force-1 (:Par entité: 92 N:)
Entités	1 face(s)
Type	Force normale
Valeur	92
Unités	SI
Identificateur	2

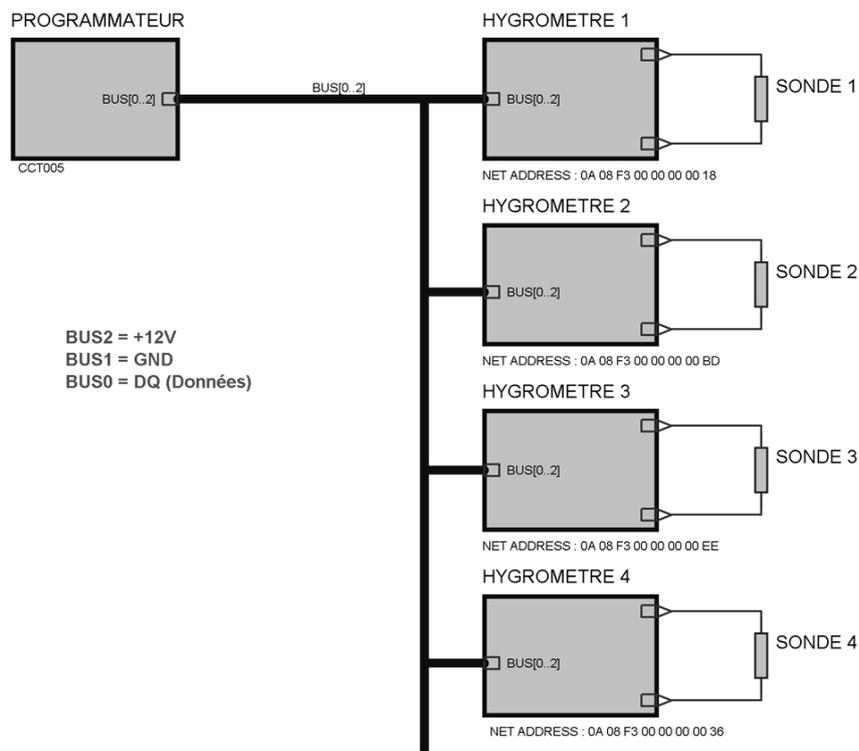
Champ des contraintes dans le plongeur :



DT9 : Données sur le matériau du piston doseur (plongeur)



DT10 : Interfaçage programmeur / sondes hygrométriques

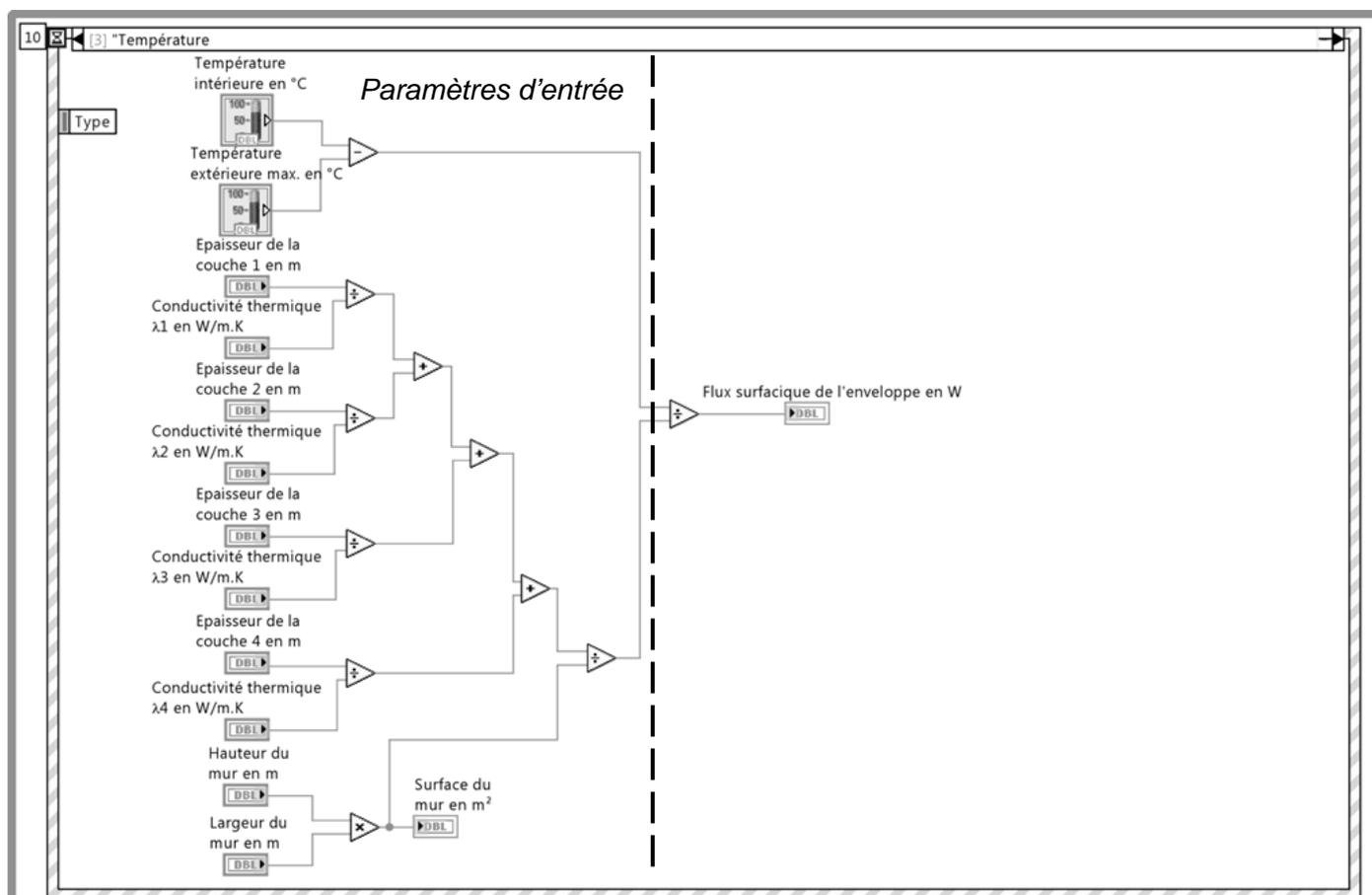


sonde hygrométrique

DR1 : Données du modèle de comportement thermique de la façade Est

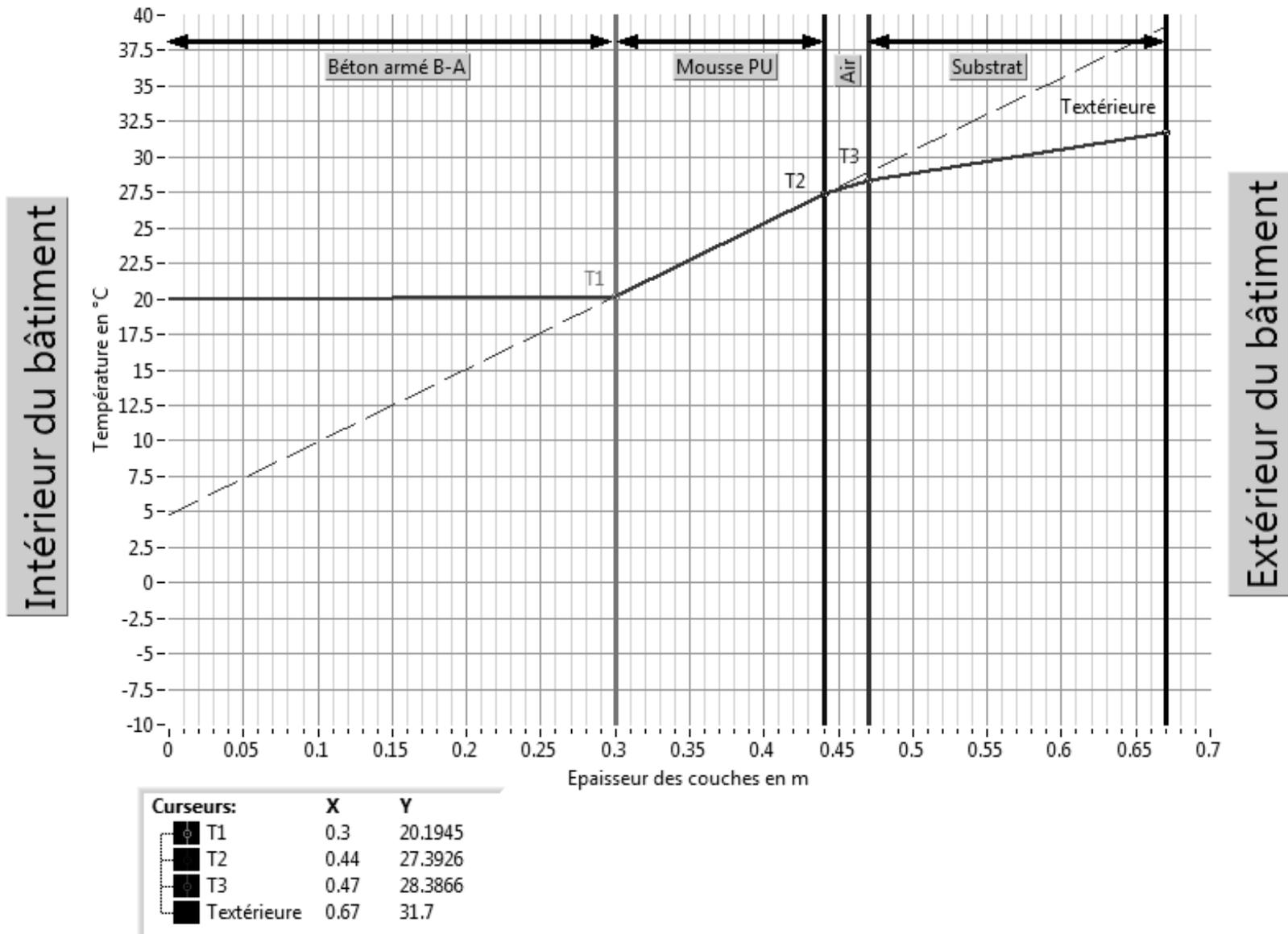
FLUX DE L'ENVELOPPE - FACADE Est : Flux surfacique de l'enveloppe en W -132.909			DONNEES THERMIQUES : Température extérieure max. en °C 40 25 -10 Température intérieure en °C 40 25 -10 20	
DONNES ARCHITECTURALES : Hauteur du mur en m Largeur du mur en m Surface du mur en m ²				
CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES COUCHES DE L'ENVELOPPE :				
Epaisseur de la couche 1 en m	Matériau de la couche 1	Conductivité thermique λ_1 en W/m.K		
Epaisseur de la couche 2 en m	Matériau de la couche 2	Conductivité thermique λ_2 en W/m.K		
Epaisseur de la couche 3 en m	Matériau de la couche 3	Conductivité thermique λ_3 en W/m.K		
Epaisseur de la couche 4 en m	Matériau de la couche 4	Conductivité thermique λ_4 en W/m.K		

DR2 : Modèle de comportement thermique de la façade Est

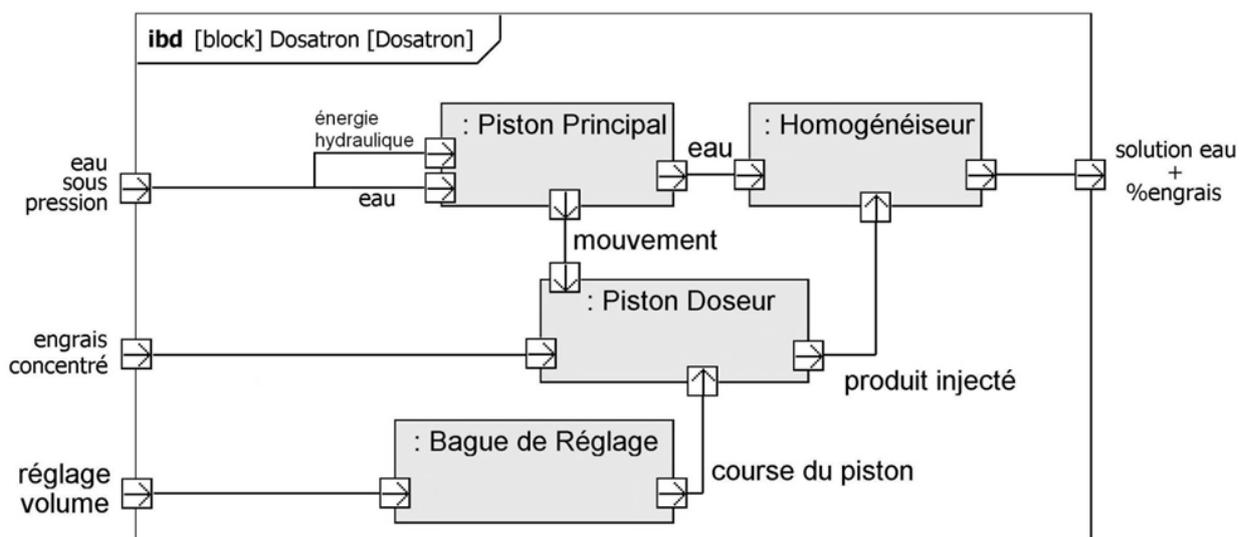
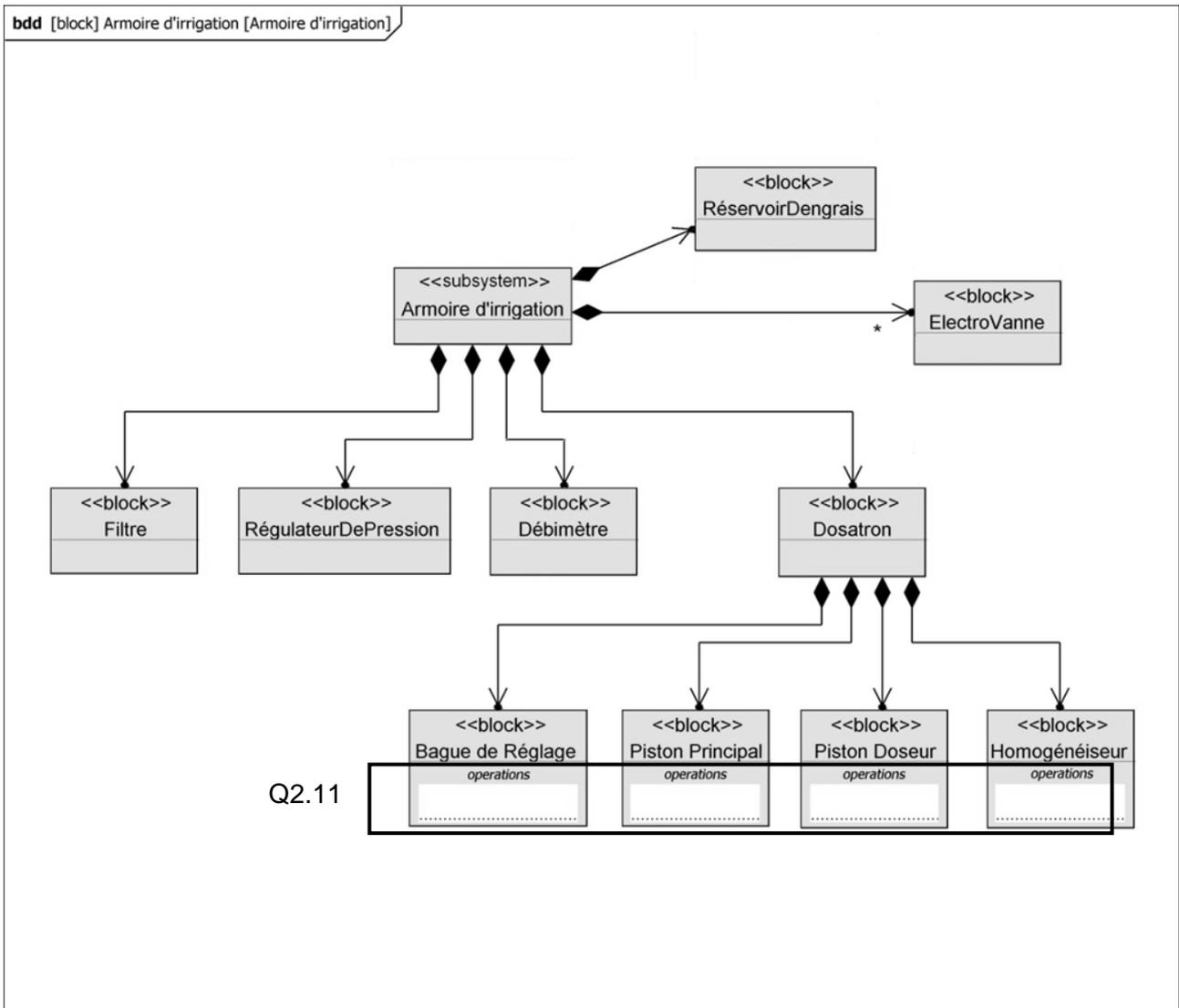


DR3 : Simulation du comportement thermique de la façade Est

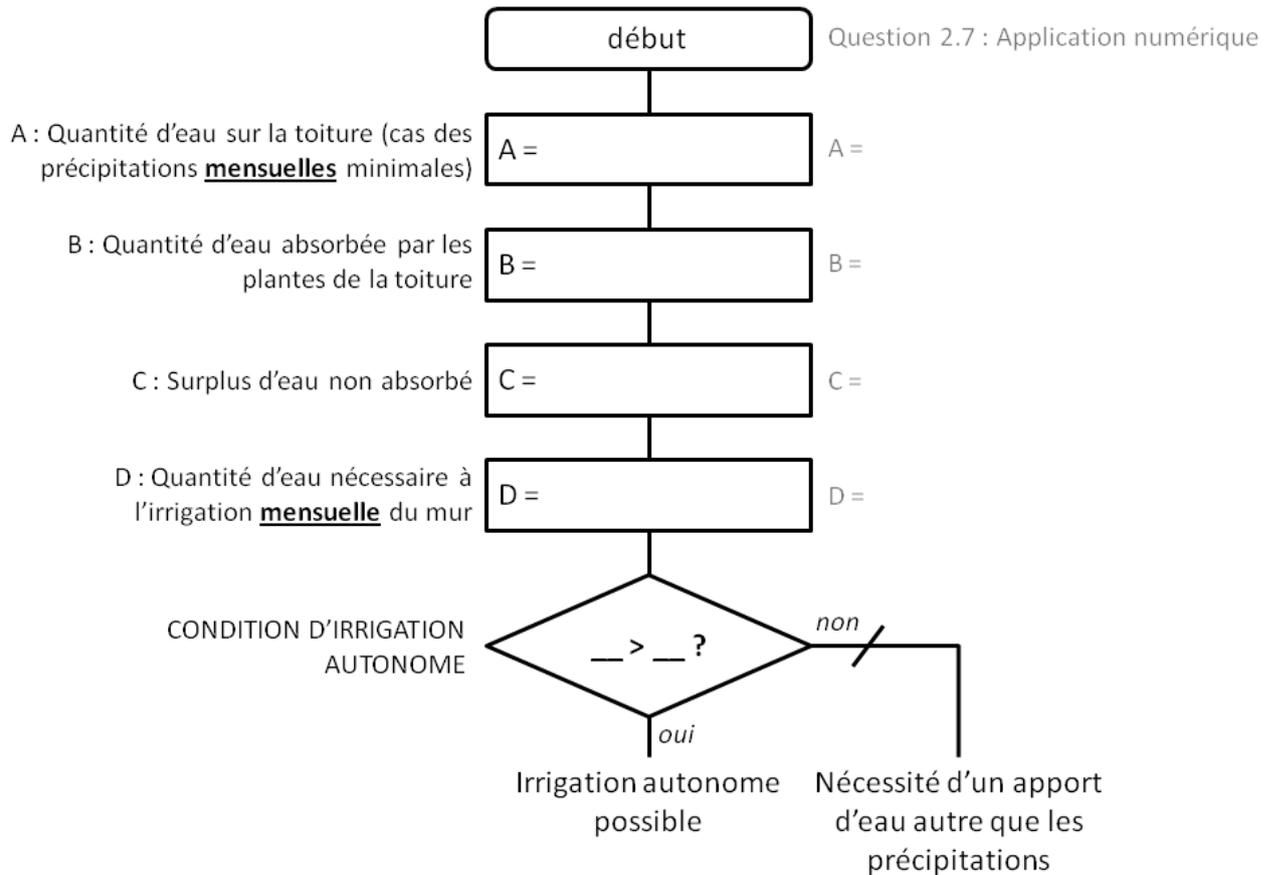
Evolution de la température à l'intérieur de l'enveloppe du mur - Façade Est :



DR4 : Réseau d'irrigation et de fertilisation du mur végétalisé

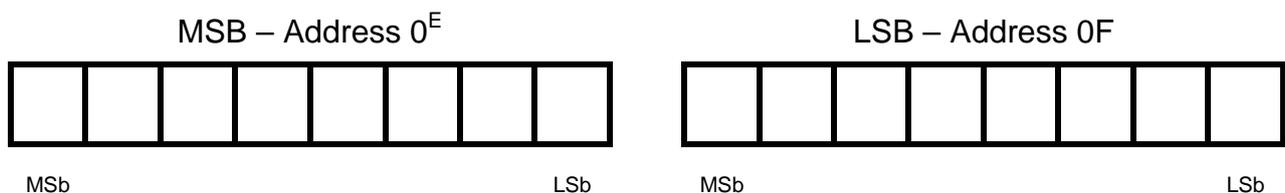


DR5 : Algorithme de validation d'une irrigation autonome.



DR6 : Registre « Current Register » d'une sonde hygrométrique.

Taux d'humidité relative de 100%



DR7 : Courbes de pertes de charges, Dosatron gamme D3

