BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

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 33 pages numérotées de 1/33 à 33/33.

Constitution du sujet :

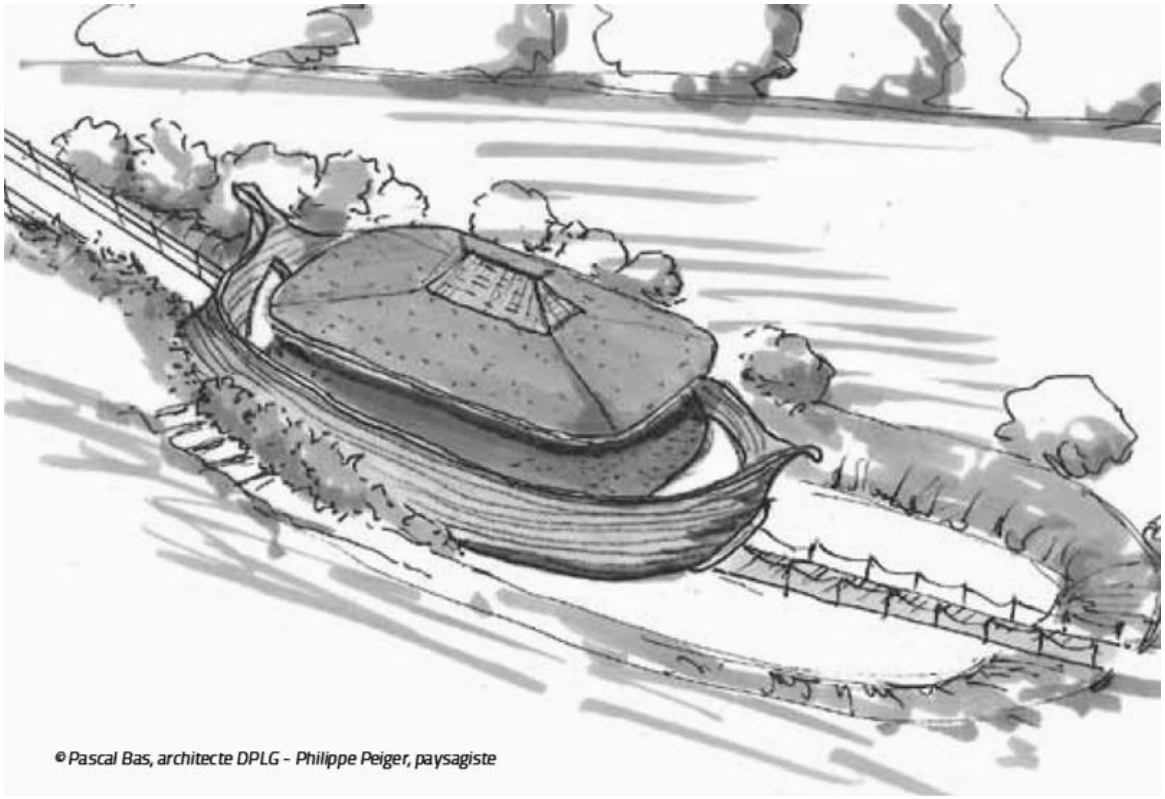
Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

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 sont à rendre avec la copie.

L'Arche des petites bêtes du zoo de Thoiry



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 3 à 10
- **Documents Techniques** ..... pages 11 à 20
- **Documents Réponses** ..... pages 21 à 22

Mise en situation

Le **Zoo Safari de Thoiry** est un parc zoologique proche de Paris accueillant plus de 1500 animaux sur environ 150 hectares du domaine du château de Thoiry. Ceci en fait le deuxième parc le plus étendu en France et le douzième en nombre de visiteurs avec plus de 400 000 entrées chaque année.

Il se décompose, de façon originale, en 3 sections spécifiques :

- le **château et ses jardins botaniques** (classés et labellisés « jardin remarquable » par le Ministère de la Culture) ;
- le **Safari** ;
- le **zoo** classique abritant 750 animaux pour la plupart appartenant à des espèces protégées.

Le parc organise de nombreuses visites et ateliers pédagogiques, notamment pour les enfants de tous âges, encadrés par des animateurs et des soigneurs. Environ 13 000 élèves de primaire et de collège bénéficient de ces stages visant à la compréhension de la nature et des animaux chaque année.

L'Arche des petites bêtes

Inauguré en 2012 dans la section zoo, ce nouveau bâtiment a été imaginé afin de servir de refuge à des animaux moins impressionnants que ceux de la jungle, mal connus, mais parfois bien plus importants pour la biodiversité mondiale. Les « petites bêtes » ont été sélectionnées parmi une soixantaine d'espèces originales *(grenouille mousse, mygale à genoux rouges du Mexique, caméléon panthère, lézard à casque, méduse lune…).*

Vue aérienne de l'entrée de l'Arche des petites bêtes dans son environnement.

L'Arche des petites bêtes a été conçue pour répondre à 3 objectifs.

- Être un centre d'élevage et de conservation pour les espèces d'invertébrés et d'amphibiens menacées

Le bâtiment sert de refuge, de nurserie et de lieu de reproduction pour des animaux rares et en voie d'extinction. Symboliquement, la structure choisie est celle d'un immense vaisseau de bois de 500 m².

- Être une structure pédagogique et ludique permettant de sensibiliser le public à la conservation de la biodiversité et au développement durable

« Le visiteur […] est invité à suivre un cheminement traversant cinq zones différentes qui le mènent de l'ombre à la lumière, tant physiquement que sur le plan de la réflexion scientifique et philosophique. Durant sa visite, il passe ainsi successivement par une étape de constat (menaces pesant sur la nature), par le temps de la découverte (merveilles de la nature), par le stade de l'obscurantisme (peur de la nature), par une phase d'observation (connaissance de la nature) pour enfin parvenir aux solutions (préservation de la biodiversité). » Extrait du dossier de presse.

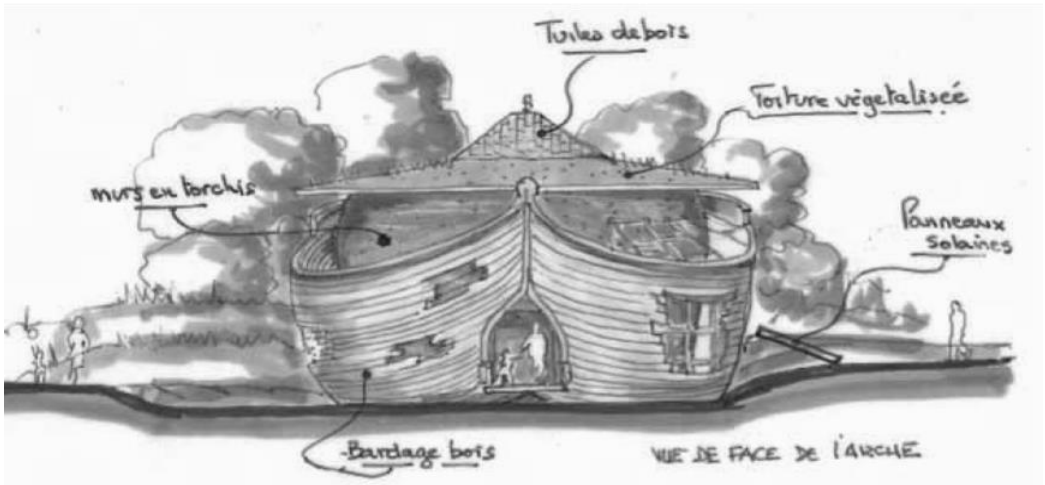
L'ensemble de la structure est, de plus, conçue pour un accès intégral aux personnes à mobilité réduite dans un esprit et un design totalement innovant pouvant attirer un public en grand nombre.

- Être une éco-construction minimisant son impact sur l'environnement

« Edifiée avec des matériaux renouvelables et/ou recyclables, l'infrastructure répond au cahier des charges des bâtiments bioclimatiques : isolation très performante et inertie thermique, orientation et récupération des eaux de pluie, filtration de l'eau… De plus, l'Arche des petites bêtes a été bâtie avec des matériaux locaux. Ceux-ci présentent l'avantage d'avoir nécessité peu ou pas de transport (terre de la toiture), ou d'être d'un faible coût énergétique à la production (bois de la charpente), ou encore d'être en grande partie recyclables (béton de chanvre des murs) […].

Le toit végétalisé favorise l'intégration paysagère mais rend aussi à la faune et à la flore locales la surface au sol affectée au bâtiment».* Extrait du dossier de presse.

** Ne pas gêner les perspectives depuis le parc classé par un bâtiment trop visible.*



Travail demandé

Problématique générale : Comment l'arche des petites bêtes s'inscrit-elle dans une démarche de développement durable ?

Inscription dans une démarche de développement durable

Question 1.1

Mise en situation

DT1

Identifier, à partir des textes de présentation et du diagramme des exigences du DT1, pour chacun des 3 piliers du développement durable :

- 1 argument inscrivant le projet de l'arche dans une démarche environnementale.
- 1 argument inscrivant l'arche dans une démarche sociétale.
- 1 argument inscrivant l'arche dans une démarche économique.

Partie 1 : Comment inscrire les matériaux choisis dans une démarche de développement durable ?

Structure porteuse

La structure porteuse du toit du bâtiment est construite en poteaux de bois lamellé-collé (voir DT2). L'étude porte sur les 12 poteaux de la face externe. Ceux-ci mesurent 5,9 m de haut, ont une largeur à leur base de 0,5 m et à leur sommet de 1 m.

Le DT3 présente une étude éco-environnementale comparative entre la solution finalement choisie (bois et assemblage de provenance locale) et une solution en acier 5 fois plus résistant, permettant l'emploi d'une épaisseur plus fine, mais d'une provenance plus éloignée.

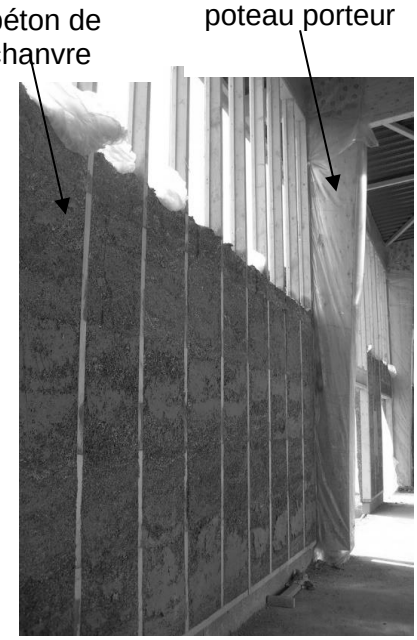


Photo montrant un poteau porteur et les parois en béton de chanvre durant la construction

Question 1.2

DT3

Estimer, pour les 2 matériaux envisagés, les valeurs de l'énergie totale dépensée dans le cycle de vie d'un poteau puis de l'équivalent en kg de CO_2 total rejeté, à l'aide des données du DT3.

Question 1.3

DT3

Calculer en pourcentage, dans le cas d'un poteau en acier, la part du transport dans l'énergie totale dépensée dans le cycle de vie puis dans l'équivalent en kg de CO_2 total rejeté, à partir du DT3.

La part du transport pour la solution en bois est quasiment nulle.

Justifier l'intérêt de l'emploi de matériaux locaux.

Question 1.4 DT3	**Calculer** le rapport énergie totale acier / énergie totale bois, à partir du DT3. **Calculer** ensuite le rapport équivalent en kg de CO_2 total acier / équivalent en kg de CO_2 total bois, toujours à partir du DT3. **Justifier** à l'aide de ces rapports le choix de la structure bois issue d'une production locale.

<u>Matériau isolant sur les parois</u>

Les parois de l'arche ont été conçues afin d'assurer l'isolation thermique maximale du bâtiment, les « petites bêtes » vivant dans des univers spécifiques. Elles doivent également garantir la résistance mécanique, la rigidité et la sécurité des personnes. Le choix s'est porté sur un matériau composite et écologique, le béton de chanvre, obtenu par mélange d'un granulat léger d'origine végétale (le chanvre) et d'un liant minéral (la chaux). Comme tout végétal, le chanvre absorbe et stocke du CO_2 pendant sa phase de croissance.

Le DT4 donne certaines performances du béton de chanvre pertinentes pour notre étude.

Question 1.5 DT4	**Expliquer** pourquoi le béton de chanvre est un bon compromis pour assurer l'isolation thermique et garantir la résistance des parois, en vous appuyant sur les données du DT4.

Le béton de chanvre n'est pas la solution traditionnellement choisie par les constructeurs pour ce type de parois. Le Document Technique DT5 présente une comparaison entre le béton de chanvre et d'autres solutions d'un point de vue environnemental.

Question 1.6 DT5	**Relever**, sur le DT5, la valeur de CO_2 émis par le béton de chanvre durant son cycle de vie. **Expliquer** pourquoi cette valeur est négative. **Conclure** quant aux choix de l'architecte vis-à-vis des critères environnementaux pour la réalisation des parois.

Partie 2 : Comment respecter la réglementation thermique en vigueur ?

La technique du béton projeté utilisée pour la mise en œuvre du béton de chanvre permet d'obtenir la courbure esthétique de la face externe, voulue par l'architecte. L'épaisseur des murs en béton de chanvre n'est donc pas constante.

Question 2.1 DT6 DR1	**Relever** les épaisseurs minimale et maximale des murs, données sur les plans du DT6 (coupe AA). **Calculer** l'épaisseur moyenne $e_{moy} = (e_{max} + e_{min}) / 2.$ **Compléter** les cases correspondant à l'épaisseur moyenne e_{moy} du béton de chanvre et de l'enduit de chaux sur le DR1.

Question 2.2 DT7 DR1	**Calculer** les résistances thermiques des couches de béton de chanvre et d'enduit de chaux en utilisant le DT7. **Indiquer** ces valeurs sur le DR1.

Question 2.3 DT8 DR1	**Identifier** les valeurs des résistances superficielles extérieures et intérieures d'une paroi verticale en utilisant le DT8. **Indiquer** ces valeurs sur le DR1. **Calculer** la résistance thermique totale de la paroi. **Indiquer** cette valeur sur le DR1.

Question 2.4 DT7 DR1	**En déduire** le coefficient de transmission thermique U_P de la paroi sur le DR1 et **vérifier** que la réglementation U_{max} est respectée.

On donne la longueur totale des murs : **88,77m** et on néglige, pour le calcul, les diverses ouvertures du bâtiment.

Question 2.5 DT6	**Relever** la hauteur des murs en béton de chanvre sur le plan donné dans le DT6. **En déduire** la surface des murs en béton de chanvre.

Pour le confort des visiteurs, on souhaite maintenir une température à l'intérieur de l'Arche de **19°C**. La période de chauffe du bâtiment dure **du 1ier octobre au 30 avril**, soit **212 jours**. En raison de la forme arrondie de la paroi, le coefficient de transmission thermique moyen est $\mathbf{U_P = 0{,}4\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$.

Question 2.6 DT9	**Calculer** la température extérieure moyenne durant la période de chauffe à l'aide des informations du DT9. **En déduire** l'écart de température moyen entre l'intérieur et l'extérieur durant cette période. **Calculer** le flux thermique moyen qui traverse les parois verticales en béton de chanvre en kW.

Question 2.7 DR2	**Calculer** l'énergie thermique perdue au travers des parois verticales en béton de chanvre en kW·h durant la période de chauffe. **Compléter** le DR2 pour obtenir les déperditions thermiques totales.

L'étude précédente permet d'estimer les déperditions énergétiques à **environ 37000 kW·h**. Un logiciel de simulation numérique a permis d'obtenir un bilan énergétique thermique complet de l'Arche. Ce résultat est présenté sous la forme d'un diagramme de Sankey dans le document DT10.

Question 2.8 DT10	**Comparer** les valeurs des déperditions obtenues par simulation avec celles calculées par l'étude. **Expliquer** cette différence en citant 2 autres sources de déperditions thermiques qui n'ont pas été prises en compte dans les calculs.

Partie 3 : Comment couvrir de manière renouvelable une partie des besoins énergétiques de l'arche ?

Selon le diagramme de Sankey, les besoins thermiques nets sont de 21679 kWh. On estime que ceux-ci représentent environ 70% des besoins énergétiques globaux du bâtiment. Ces besoins sont donc évalués à 30000 kWh par an. Afin de respecter les contraintes environnementales de l'Arche, on souhaite mettre en place des panneaux solaires photovoltaïques pour couvrir une partie des besoins énergétiques.

Question 3.1 DT1	**Indiquer** le pourcentage d'énergie renouvelable à injecter dans le système, à partir du diagramme SysML des exigences. **En déduire** l'énergie que doivent produire les panneaux solaires.

Question 3.2 DT11	**Justifier** le choix d'une inclinaison des panneaux solaires à 45°, à partir de l'irradiation globale présentée sur le document technique DT11.

Question 3.3 DT12	**Indiquer** la valeur de la quantité d'énergie récupérable sur une année, par m² de panneaux, à partir du DT12 (valeurs irradiation solaire).

On choisit d'installer des panneaux solaires « Systovi » de puissance 300Wc. Fabriqués en France, ils permettent de réduire l'impact environnemental dû au transport des matériaux.

Question 3.4 DT13	**Relever** les dimensions d'une cellule, d'après le DT13 (fiche technique panneau solaire). **En déduire** la surface totale de cellules composant un panneau.

Question 3.5	**Calculer** la quantité d'énergie solaire qu'un panneau peut capter sur une année (en kW·h) s'ils sont inclinés à 45°.

Question 3.6 DT13	**Relever,** sur le DT13, la valeur du rendement du panneau choisi (fiche technique panneau solaire). **En déduire** la quantité d'énergie électrique récupérable sur une année par un panneau solaire.

L'installateur propose de mettre en place 15 panneaux solaires.

Question 3.7	**Conclure** en justifiant sur le respect du cahier des charges.

Partie 4 : Comment améliorer la communication envers les publics scolaires ?

Les parcs zoologiques jouent désormais un rôle crucial dans la préservation de la biodiversité, grâce à leur capacité à sensibiliser et à éduquer un nombre croissant de visiteurs.

Afin de les sensibiliser à la préservation des espèces menacées d'extinction, le zoo souhaite mettre en place le prêt de tablettes numériques permettant une visite plus ludique pour les plus jeunes. L'application qui sera installée nécessite une communication entre les tablettes et un accès internet. Le zoo prévoit l'accueil de groupes scolaires de 30 enfants maximum. Deux groupes scolaires pourront effectuer la visite de l'Arche en même temps.

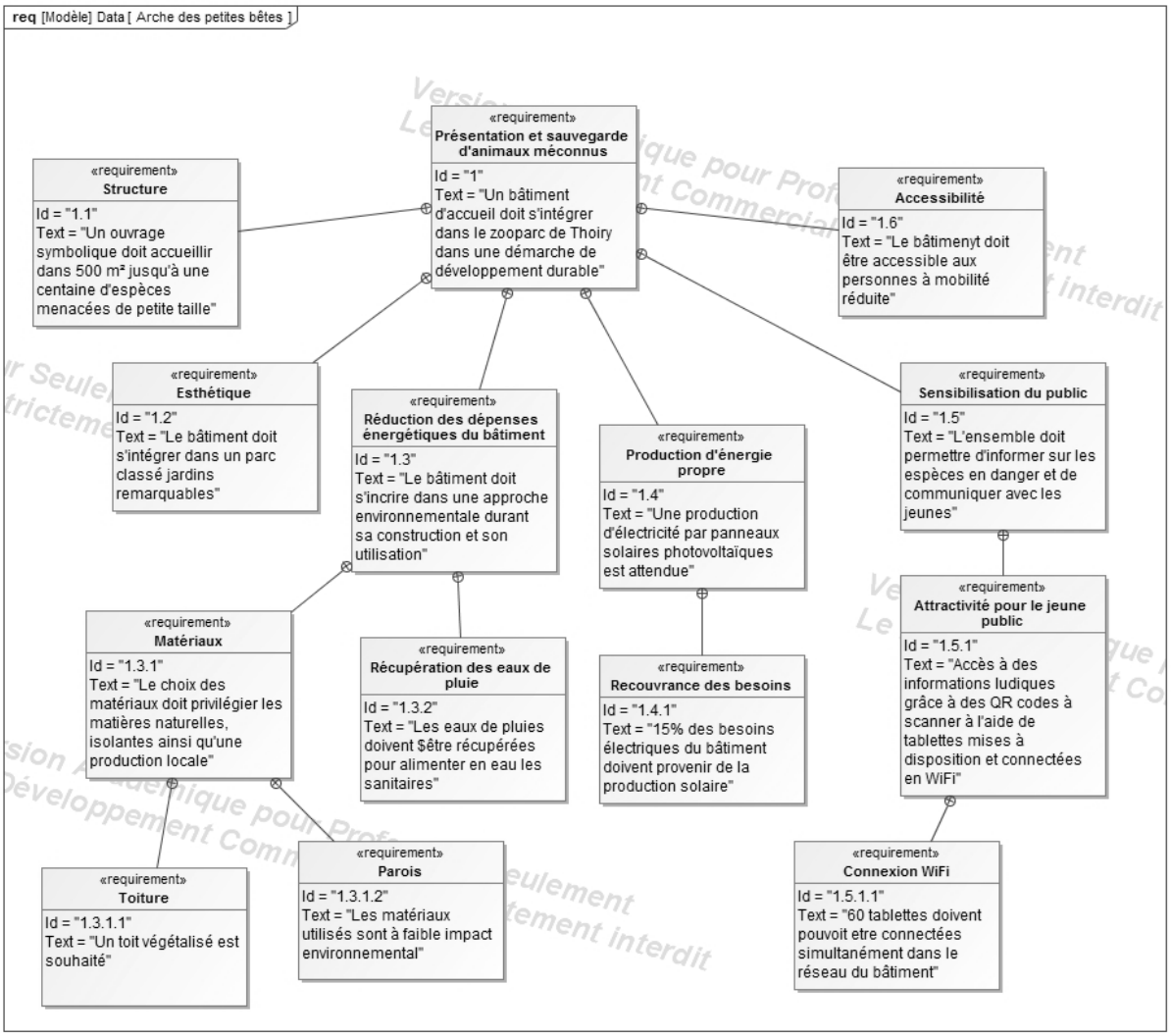
Le plan d'installation du réseau informatique déjà en place est présenté sur le Document Technique DT14.

Question 4.1 DT1	**Indiquer** la solution retenue pour rendre attractif l'Arche pour les enfants, à partir du diagramme des exigences (DT1).
Question 4.2 DT14	**Déterminer** le nombre d'équipements déjà adressés sur le réseau interne de l'Arche, à partir du plan d'implantation du réseau informatique de l'Arche (DT14).
Question 4.3 DT14	**Indiquer** les valeurs décimales de l'adresse IP du réseau en place et de son masque de sous réseau, à partir du plan d'implantation du réseau informatique de l'Arche (DT14).
Question 4.4 DT14	**Indiquer** les deux plages d'adresses IP disponibles pour raccorder des nouveaux appareils.
Question 4.5 DT14	**Déterminer** le nombre d'adresses IP restant disponibles.
Question 4.6 DT1	**Comparer** vos résultats, en termes de capacité de connexion de tablettes, au cahier des charges (DT1). **Conclure** sur les capacités de l'Arche à accueillir les groupes scolaires dans les conditions souhaitées par les responsables du zoo.

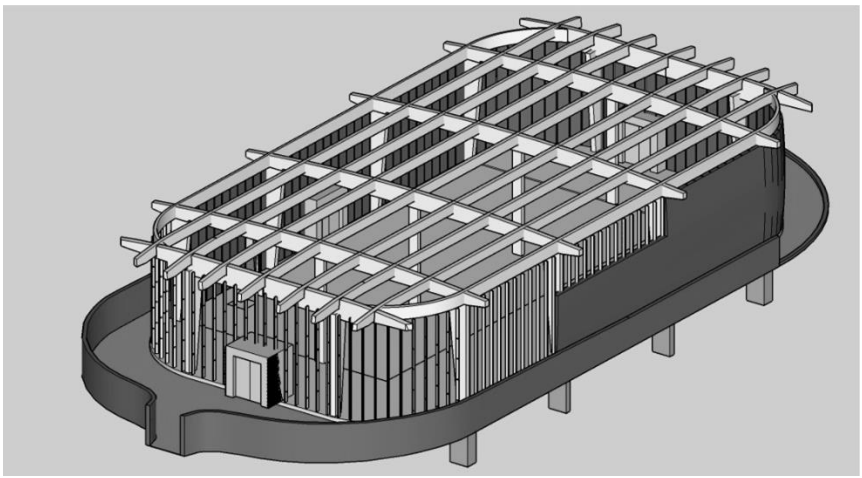
<u>Conclusion générale</u>

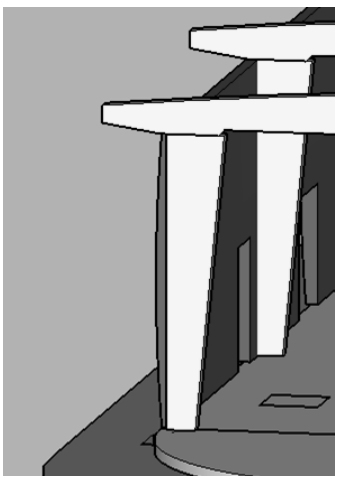
Question 4.7	**Argumenter** sur le bien-fondé des solutions développées, pour chacune des 4 parties étudiées, du point de vue des 3 piliers du développement durable.

DT1 : diagramme des exigences



DT2 : modèle numérique de la structure porteuse de l'arche (toiture enlevée)

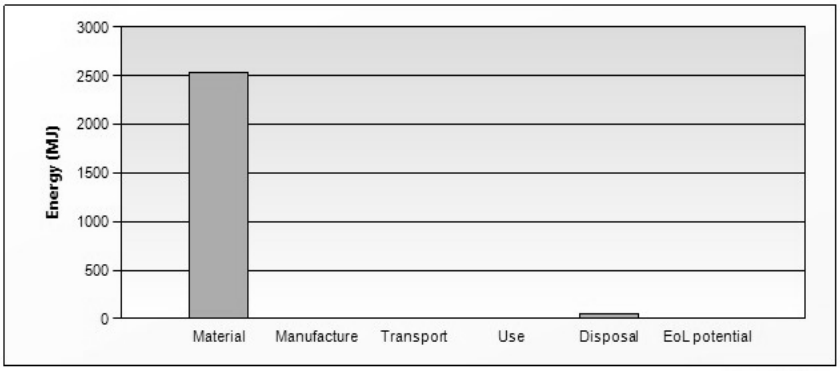




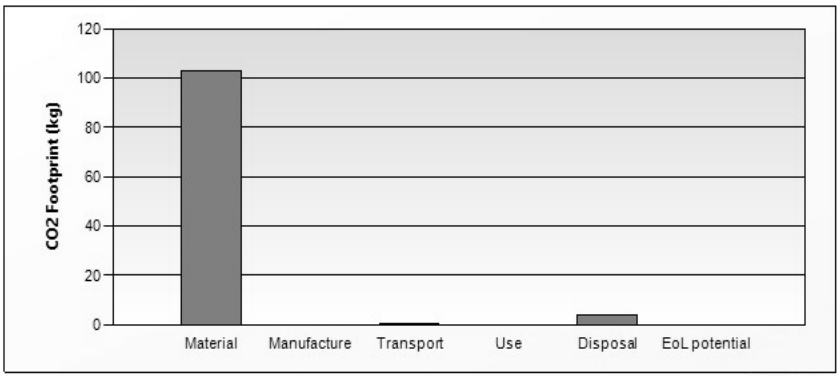
DT3 : étude comparative d'éco-conception dans leur cycle de vie d'un poteau porteur par simulations numériques

Material : Matériaux – Manufacture : Fabrication – Transport : Transport – Use : Utilisation
Disposal : Fin de vie – EoL potential : Recyclage potentiel

Version installée en bois lamellé-collé



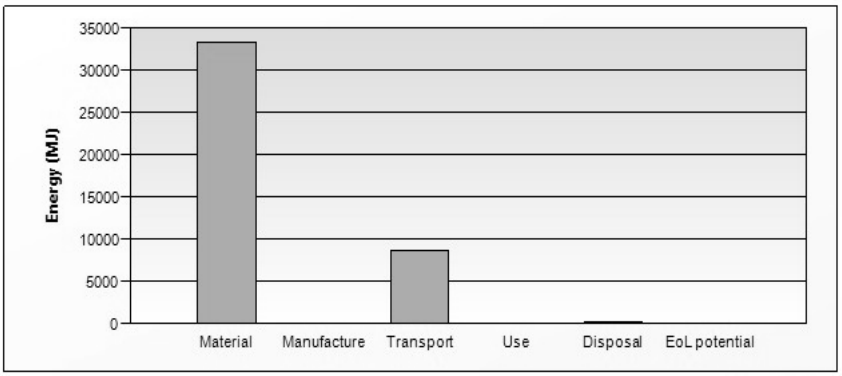
Energy Details...



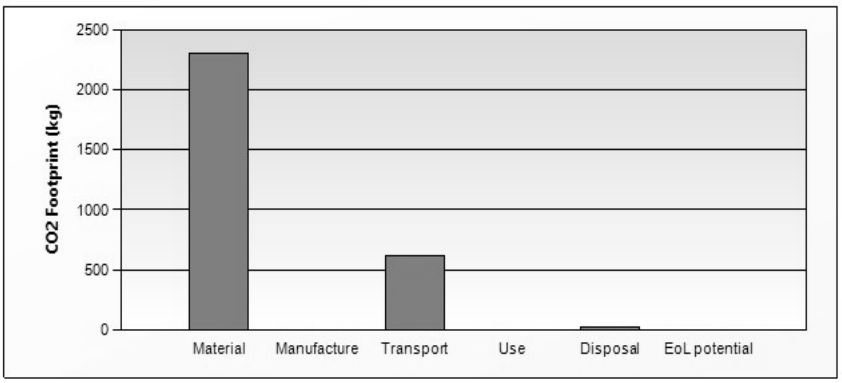
Paramètres de simulation :

- Poteau en bois lamellé-collé épaisseur 250 mm
- Masse de 274 kg.
- Cycle de vie de 50 ans,
- Transport par camion 32 tonnes
- Distance parcourue du lieu de fabrication au chantier de construction : 50 km

Version comparative en acier



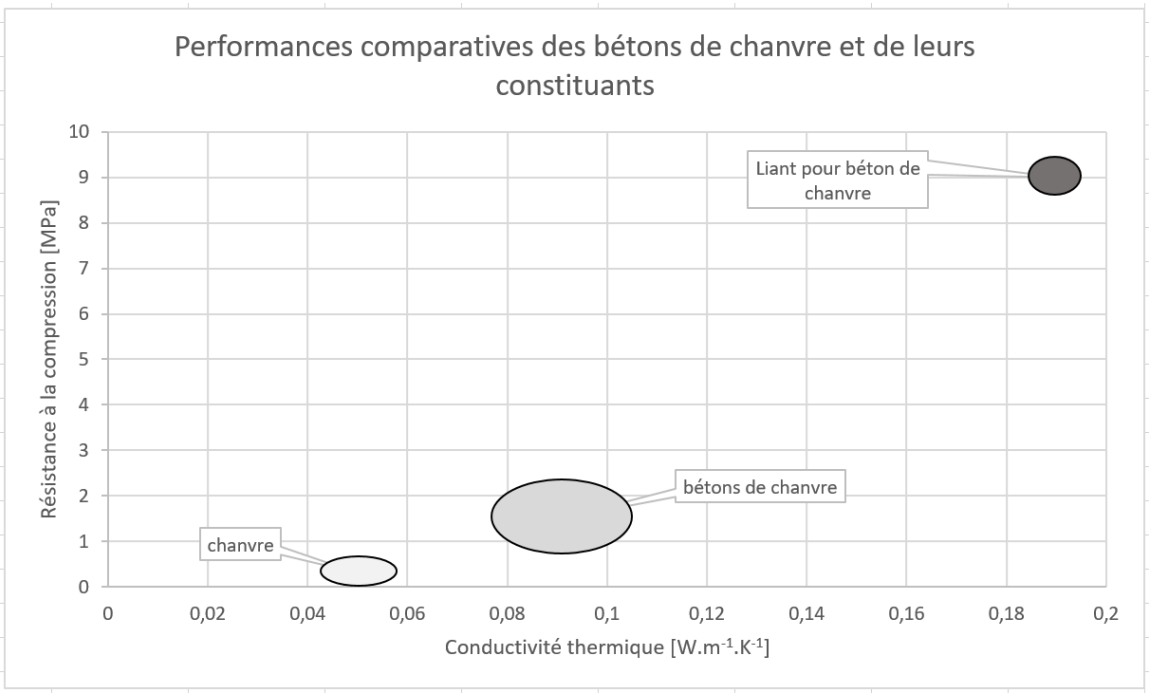
Energy Details...



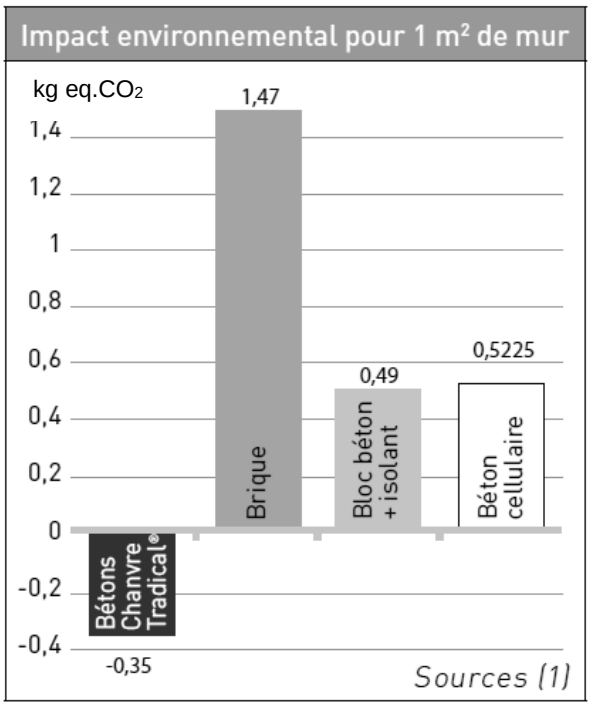
Paramètres de simulation :

- Poteau en acier épaisseur 50 mm
- Masse de 1270 kg.
- Cycle de vie de 50 ans,
- Transport par camion 32 tonnes
- Distance parcourue du lieu de fabrication au chantier de construction : 1500 km

DT4 : performances des bétons de chanvre suivant trois critères

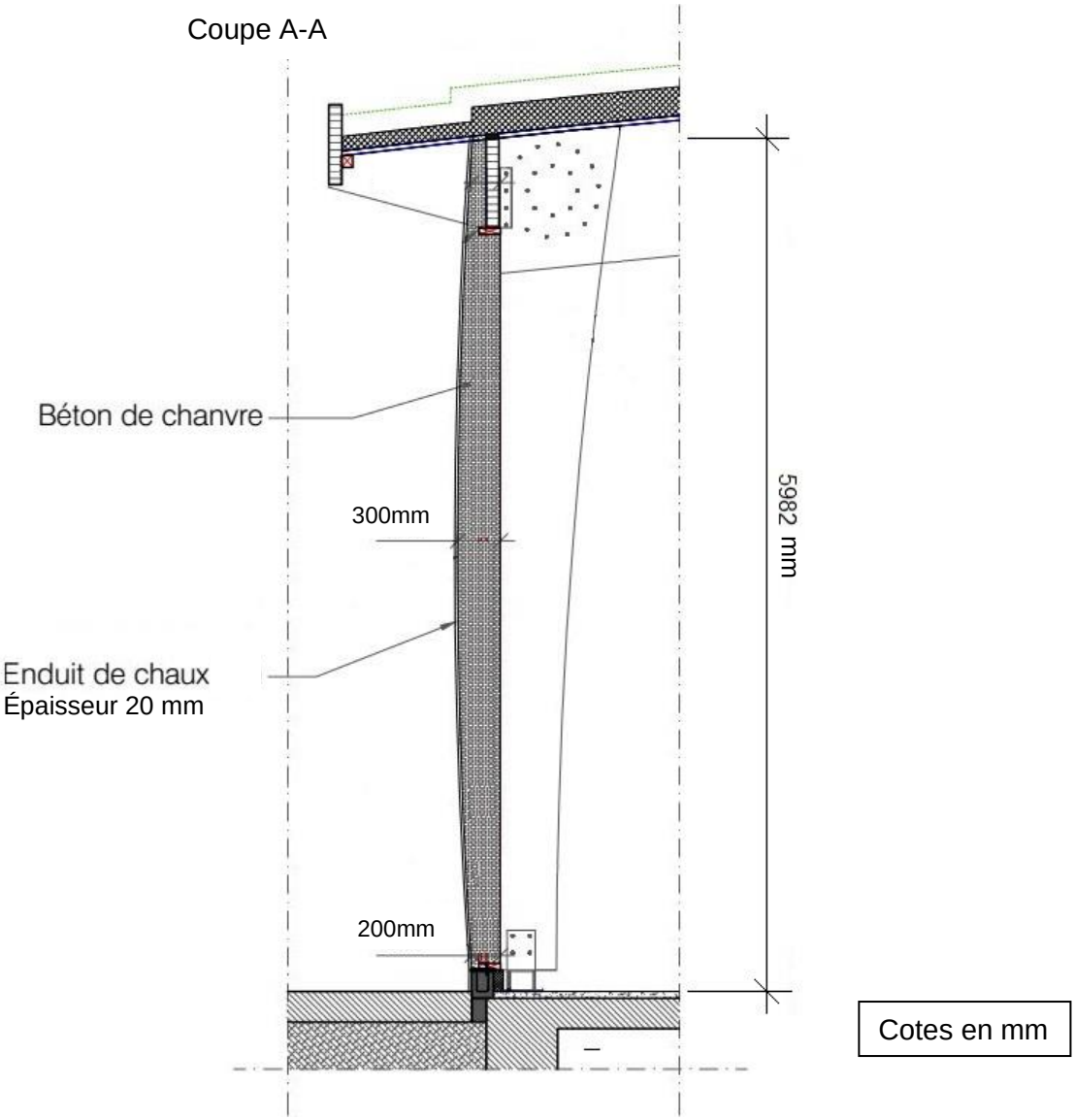


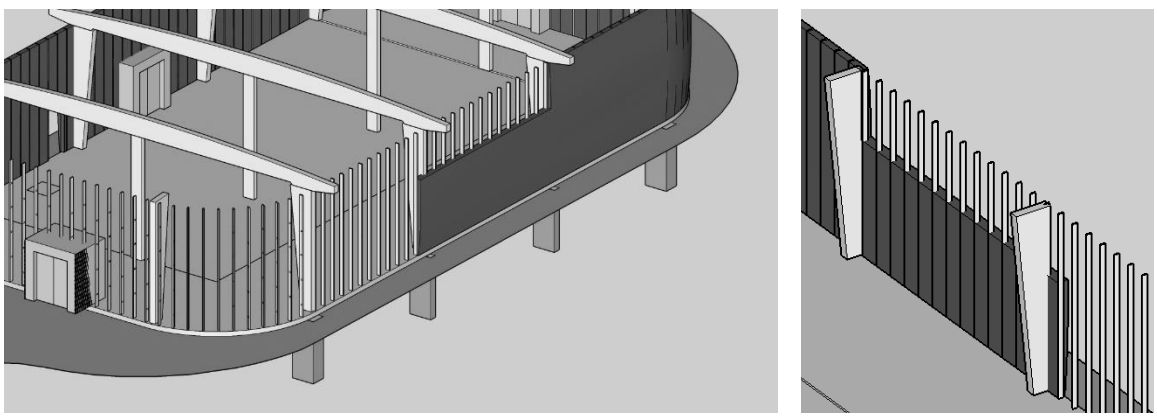
DT5 : émissions des gaz à effet de serre (en kg eq. CO_2) sur l'ensemble du cycle de vie de différents types de parois



(1) Les données proviennent de la base INIES et de l'analyse du cycle de vie d'un mur en béton de chanvre banché sur ossature bois réalisé par l'INRA selon la norme NF 10.010 à la demande et avec le concours du Ministère de l'Agriculture et de l'ADEME.
Les Bétons Chanvre Tradical® ont été choisis pour cette analyse.

DT6 : plan de structure : coupe verticale des murs





Détails de la vue en coupe du modèle 3D

DT7 : caractéristiques des parois

Caractéristiques des parois

Paroi	Composition	Coefficient de transmission thermique Up ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	Maximum réglementaire Umax ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
Plancher bas	Polyuréthane 10cm Béton 20cm	0.30	0,4
Mur extérieur	Béton de chanvre Enduit de chaux 2 cm	A déterminer	0,45
Plancher intermédiaire	Bois	>5	Pas d'exigences
Mur intérieur	SIPOREX ep 15 cm	0,59	Pas d'exigences
Toiture terrasse végétalisée	Terre 8cm Bitume d'étanchéité Polyuréthane 6cm Panneau OSB 2cm	0,41	0,28
Plancher sous comble	Ouate de cellulose 20cm Panneau OSB 2cm	0,2	0,28

Rappels :

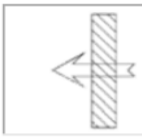
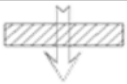
La résistance thermique (R_{th}) d'une couche de matériau de conductivité thermique (λ) et d'épaisseur (e) est :

$$R_{th} = e / \lambda$$

Le coefficient de transmission thermique (U_p) d'une paroi de résistance thermique (R_{th}) est :

$$U_p = 1 / R_{th}$$

DT8 : résistances thermiques superficielles

VALEURS DES RESISTANCES THERMIQUES SUPERFICIELLES (m².K/w)					
Croquis	Sens du flux	Paroi en contact avec			
		L'extérieur Un passage ouvert Un local couvert		Un local non chauffé Un comble Un vide sanitaire	
		Rsi	Rse	Rsi	Rse
	Horizontal	0.13	0.04	0.13	0.13
	Ascendant	0.10	0.04	0.10	0.10
	Descendant	0.17	0.04	0.17	0.17

Résistances superficielles des parois

Rsi : Résistance superficielle intérieure / Rse: Résistance superficielle extérieure

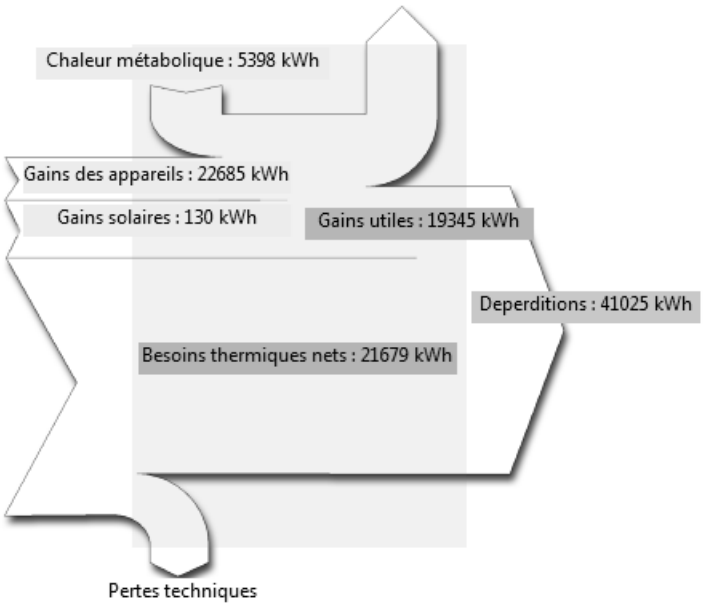
DT9 : données climatiques de Thoiry

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	2.7	3.5	6.7	9.6	12.9	15.8	17.8	17.6	15.3	10.7	6.4	3.6
Température minimale moyenne (°C)	0.1	0.4	2.5	4.8	7.9	10.6	12.5	12.4	10.5	6.8	3.5	1.2
Température maximale (°C)	5.3	6.6	10.9	14.4	17.9	21.1	23.1	22.8	20.1	14.7	9.3	6.1
Précipitations (mm)	57	47	48	45	57	53	54	51	56	58	61	57

Le flux thermique (Φ) traversant une paroi de surface (S), de coefficient de conduction (U) séparant 2 milieux dont les températures ont une différence (ΔT) est :

$$\Phi = U \cdot S \cdot \Delta T \text{ en W}$$

DT10 : diagramme de Sankey des apports internes pour le chauffage

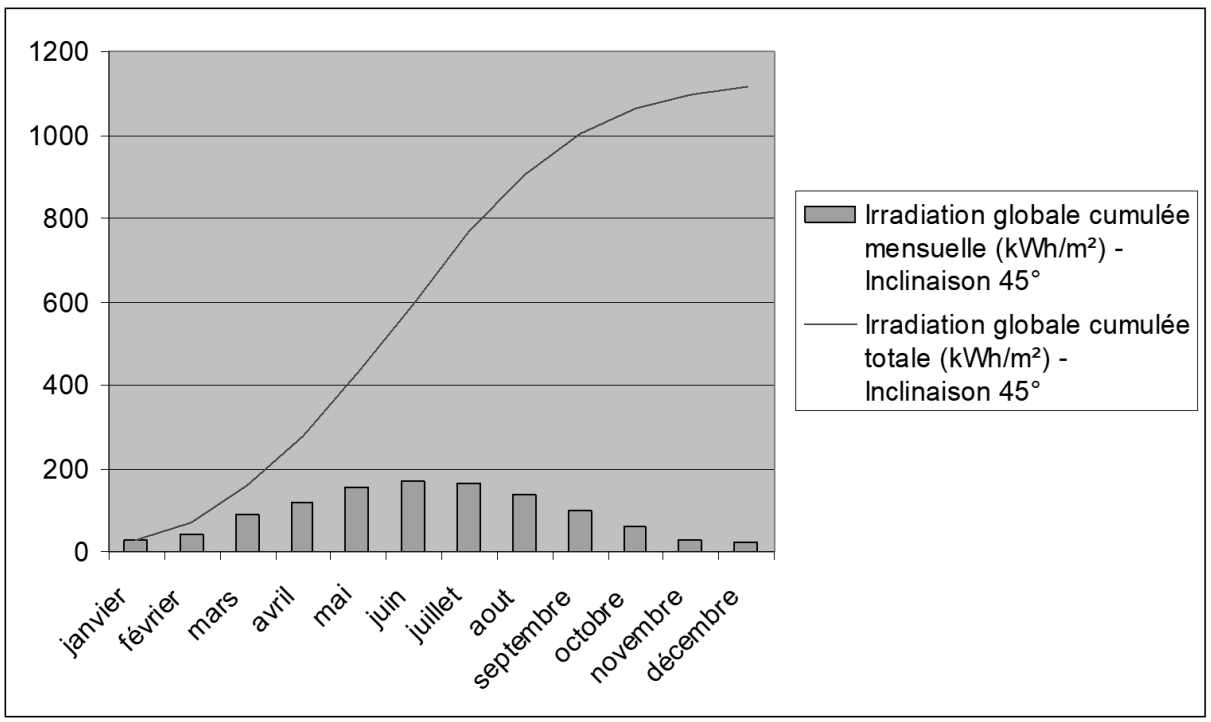


DT11 : irradiation solaire pour la commune de Thoiry pour différents plans inclinés

mois	Irradiation globale journalière (kW·h·m^{-2}) - Inclinaison 0°	Irradiation globale journalière (kW·h·m^{-2}) - Inclinaison 45°	Irradiation globale journalière (kW·h·m^{-2}) - Inclinaison 90°
janvier	0,87	1,3	1,19
février	1,52	2,01	1,72
mars	2,88	3,52	2,74
avril	3,92	4,05	2,71
mai	5,01	4,7	2,82
juin	5,59	5,01	2,85
juillet	5,33	4,86	2,82
aout	4,44	4,39	2,78
septembre	3,38	3,86	2,81
octobre	1,98	2,61	2,18
novembre	0,99	1,4	1,25
décembre	0,72	1,11	1,04
Moyenne	3,0525	3,235	2,2425

DT12 : irradiation solaire pour la commune de Thoiry sur un plan incliné à 45°

mois	Irradiation globale cumulée mensuelle (kW·h·m^{-2}) - Inclinaison 45°
janvier	27
février	43
mars	89
avril	118
mai	155
juin	168
juillet	165
aout	138
septembre	101
octobre	61
novembre	30
décembre	22



DT13 : fiche technique panneau solaire Systovi 300Wc

Systovi est une marque de panneaux solaires haut de gamme, fabriqués en France.

Le panneau solaire Systovi 300Wc, en technologie monocristalline, obtient le meilleur rendement au mètre carré des modules à base de silicium.

Les modules full black 60 cellules d'une puissance de 300Wc obtiennent un rendement surfacique de 18,6%. Les cellules noires qui le composent lui donnent un aspect full black particulièrement esthétique qui s'intègre facilement sur toutes les toitures de bâtiments.

Panneau solaire compatible avec les micro-onduleurs APS DUO YC500I, YC600 et APS QUADRI YC1000-3.

Fiche technique

DONNÉES ÉLECTRIQUES STC

Puissance crête-Pmax : 300Wc
Tension à puissance maximale : 33,24V
Intensité à puissance maximale : 8,66A
Tension de circuit ouvert : 39,48V
Intensité de court-circuit : 9,18A

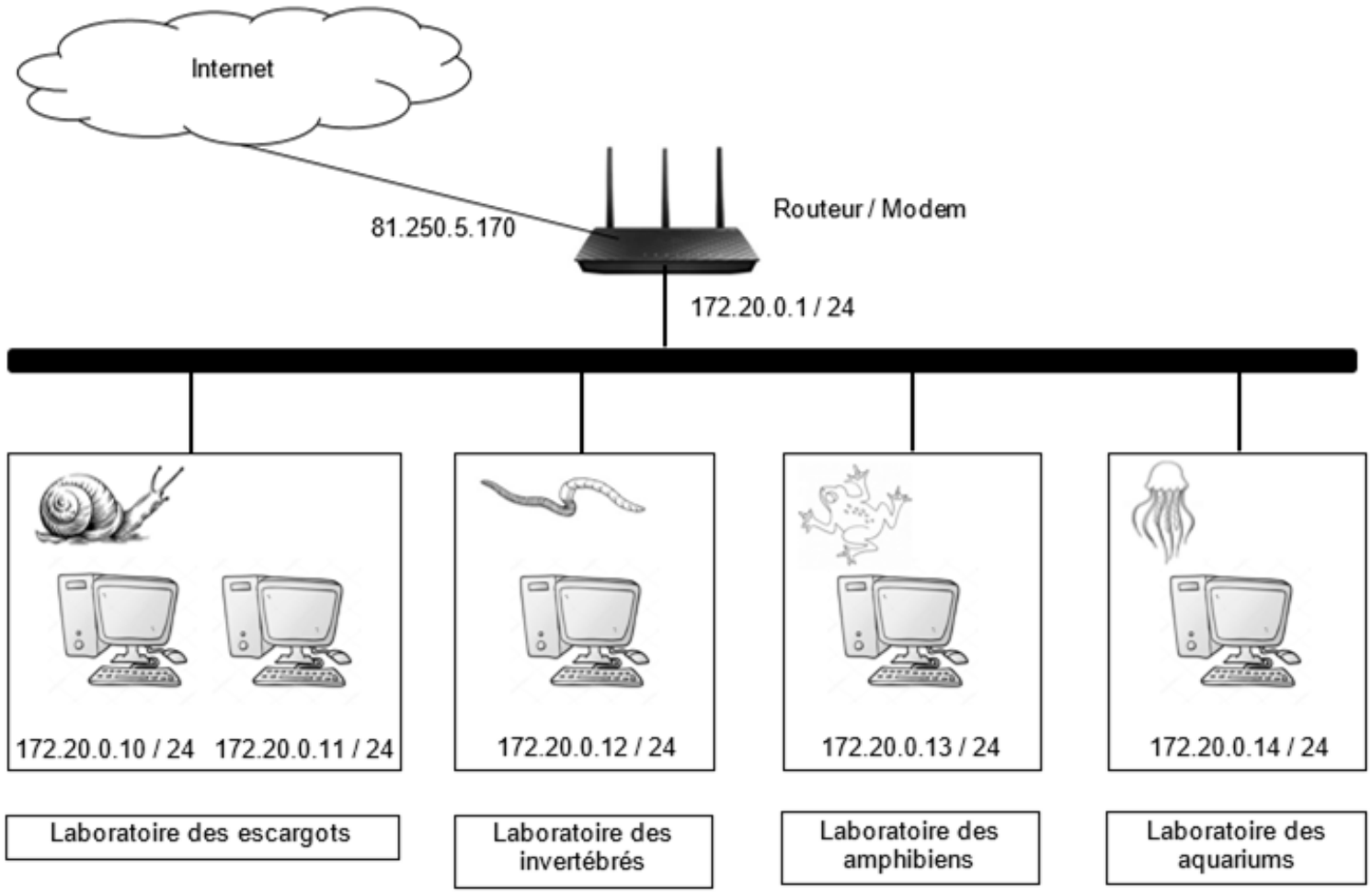
DONNÉES MÉCANIQUES

Cellules solaires : Monocristallines PERC 156 x 156 mm
Disposition des cellules : 60 cellules (6 x 10)
Dimension du module (avec le cadre): 1 648 x 988 x 35 mm
Poids : 17,8 kg
Verre : Verre solaire trempé haute transparence 3.2mm, traitement anti-reflet
Backsheet : Noir
Cadre : Aluminium noir
Boîte de jonction : Tyco Z-Rail IP 67

GARANTIES

Garantie constructeur: 20 ans
Garantie de production: 80% à 25 ans
Câbles : Résistant UV, câble 4,0 mm2 (AWG 11), 1 000 mm
Connecteur : Tyco PV4 compatible MC4

DT14 : plan d'installation du réseau informatique de l'arche



DOCUMENT RÉPONSES DR1

Calcul de la résistance thermique de la paroi en béton de chanvre :

Nom	**Épaisseur en m**	**Conductivité thermique λ en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$**	**Résistance thermique R_{th} en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$**
Surface extérieure			*Q2.3*
Enduit de chaux	*Q2.1*	0,7	*Q2.2*
Béton de chanvre	*Q2.1*	0,1	*Q2.2*
Surface intérieure			*Q2.3*
		R_{th} totale	*Q2.3*

Coefficient de transmission thermique (*Q2.4*):

U_p =

DOCUMENT RÉPONSES DR2

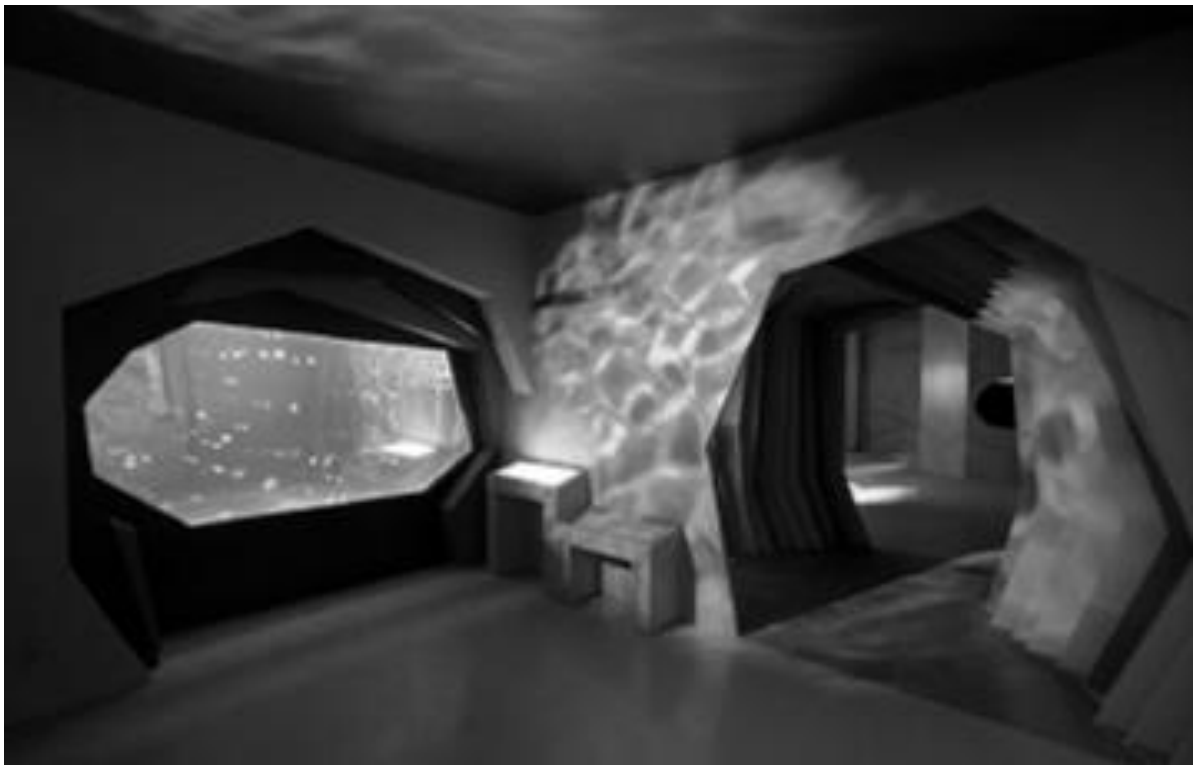
Calcul des déperditions thermiques :

Paroi	**Pertes en kW·h**
Plancher bas	10260
Mur extérieur	
Toiture terrasse végétalisée	11215
Plancher sous comble	1370
TOTAL	

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT

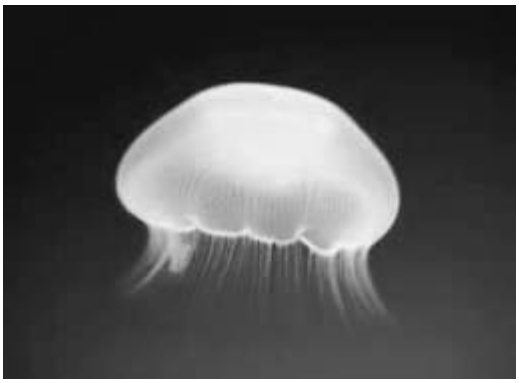
Protection des méduses – la zone Océan



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 24 à 27
- **Documents Techniques** ..... pages 28 à 31
- **Documents Réponses** ..... pages 32 à 33

Dans la partie spécifique, vous devez choisir de traiter la partie A (choix 1) ou la partie C (choix 2). La partie B est à traiter obligatoirement.

Mise en situation



Extrêmement répandue, la méduse lune fréquente toutes les mers et les océans du globe, à l'exception des eaux très froides des régions polaires. La prolifération des méduses est un indicateur du réchauffement de la température des eaux, mais aussi de la disparition de leurs prédateurs (tortues marines, thons, poisson-lune…).

Afin de sensibiliser les visiteurs aux effets du réchauffement climatique, l'aquarium des méduses est situé à l'entrée de l'Arche des petites bêtes. Dans la première zone (zone d'alerte sur les menaces pesant sur l'environnement), l'idée principale est de prévenir l'homme quant à l'urgence d'agir pour sauver la biodiversité.

Pour éviter toute mort rapide des méduses en captivité, il est essentiel de garantir certaines conditions de vie au niveau de leur aquarium. Il est spécialement conçu pour les méduses afin de créer un flux d'eau continu. Il a, de plus, des formes arrondies afin que les méduses ne puissent pas se bloquer dans les coins. Une filtration est également assurée pour que ces dernières ne puissent pas être aspirées. La température optimale pour la conservation des méduses est comprise entre 18 et 22°C.

Travail demandé

Comment assurer un flux continu d'eau dans l'aquarium des méduses ?

Le constructeur de l'installation décide d'utiliser une pompe électrique. L'alimentation en énergie électrique de la pompe se fait à partir du réseau de distribution EDF via un modulateur de puissance de type gradateur pour assurer la variation de débit de la pompe. Le contrôle de la température est réalisé via un asservissement de température (non étudié ici) agissant sur un échangeur thermique. Afin d'éviter que les méduses ne soient aspirées par le système de circulation de l'eau, un filtre est placé en sortie du bassin. Le schéma de principe de l'installation est fourni dans le document technique DTS1.

Le cahier des charges impose un débit volumique de 500 $L \cdot h^{-1}$ (soit $1{,}39.10^{-4}$ $m^3 \cdot s^{-1}$).

Le choix du matériel devra permettre une utilisation au plus près du point de fonctionnement optimum et ainsi obtenir un rendement de la pompe supérieur à 60%.

Choix 1

Partie A : vérification des performances hydrauliques

Question A.1 DTS1 DRS1	La structure de la chaine de puissance du système hydraulique est donnée sur le DRS1. **Compléter** le DRS1 en indiquant la nature des flux d'énergie ainsi que les grandeurs flux et efforts de ces énergies. **Préciser** les unités. Remarque : seule la partie hydraulique est étudiée

Hypothèse de calcul : les pertes de charges régulières sont négligeables devant les pertes de charges singulières (voir DTS2).

Une étude des équipements choisis pour la réalisation du circuit hydraulique permet de dresser le tableau suivant reprenant les caractéristiques hydrauliques des différents appareils.

Appareil	Nombre	Coefficient de pertes de charge ξ
Echangeur	1	60
Filtre	1	80
Coude 90°	4	1,5

Question A.2 DTS1 DTS2	**Calculer** la vitesse d'écoulement du fluide, en utilisant le débit fixé par le cahier des charges et la taille des canalisations. **En déduire** la pression dynamique à l'intérieur des canalisations (en Pascal).

Question A.3 DTS2	**Estimer** la pression perdue (en Pascal) dans le circuit hydraulique à cause des singularités (pertes de charges singulières), à l'aide des caractéristiques du réseau présenté dans le tableau précédent. **Vérifier** que les pertes de charges singulières représentent une perte de pression d'environ 3,6 mCE (mCE : mètre de colonne d'eau, voir DTS2).

Les pertes de charges régulières sont estimées à 1,5 mCE.

Question A.4 DTS2	**Estimer** la différence de pression minimale que devra fournir la pompe. **Donner** le résultat en mètres de colonne d'eau puis en Pascal. **Déterminer** la puissance hydraulique nécessaire à la circulation de l'eau au débit voulu.

Le choix du constructeur se porte sur la pompe dont la documentation technique est donnée en DTS3.

Question A.5 DTS3	**Justifier** le choix de la pompe suivant deux critères.

Partie B : vérification des performances électriques

Le choix du constructeur pour la modulation de puissance se porte sur un gradateur. L'objectif est de vérifier le respect du cahier des charges en termes de rendement de la pompe.

Des essais sont réalisés sur le système réel afin de vérifier la consommation électrique de la pompe. Les résultats des mesures sont présentés sur le DTS4. L'essai est réalisé alors que la puissance hydraulique de la pompe est de 7W.

Question B.1	**Déterminer** le type de gradateur à mettre en œuvre (angle de phase ou train d'ondes), sachant que celui-ci est utilisé pour piloter une pompe. **Justifier** ce choix.

Le Document Technique DTS5 présente différents choix possibles pour le gradateur.

Question B.2 DTS4 DTS5	**Donner** la référence du gradateur le plus adapté au pilotage de la pompe en place. **Justifier** le choix en définissant les critères pris en compte.

Question B.3 DTS4	**Calculer** les puissances active, réactive et apparente du moteur lors de l'essai.

Question B.4	**Déterminer** le rendement de la pompe dans ces conditions.

Question B.5	**Conclure** quant au respect du cahier des charges.

Choix 2

Partie C : vérification des performances de régulation

Afin de garantir un débit de 500 $L \cdot h^{-1}$, une régulation de débit est mise en place (voir DTS1). Le correcteur utilisé est un correcteur proportionnel de constante K=2.

Le cahier des charges fixe une erreur acceptable sur le débit de 10%.

Cette boucle de régulation nécessite l'utilisation d'un débitmètre. Les caractéristiques techniques de ce dernier sont données dans le DTS6.

Question C.1 DTS6	**Calculer** la constante de transfert du débitmètre, en utilisant les données techniques du DTS6.

Le schéma bloc de la boucle de régulation est donné sur le DRS2.

Question C.2 DRS2	**Compléter** le schéma bloc de régulation sur le DRS2 en plaçant dans chaque bloc vide les noms suivants : Gradateur, Correcteur, circuit hydraulique, débitmètre, pompe. **Compléter** le schéma bloc de régulation sur le DRS2 en indiquant les valeurs numériques de la constante du débitmètre, de la consigne et de l'adaptation de consigne.

Pour assurer la maintenance des filtres, le système est régulièrement arrêté. Lors du redémarrage du système, la consigne passe donc de 0 à 500 $L \cdot h^{-1}$. Le document technique DTS7 présente les résultats de la simulation de cet asservissement de débit.

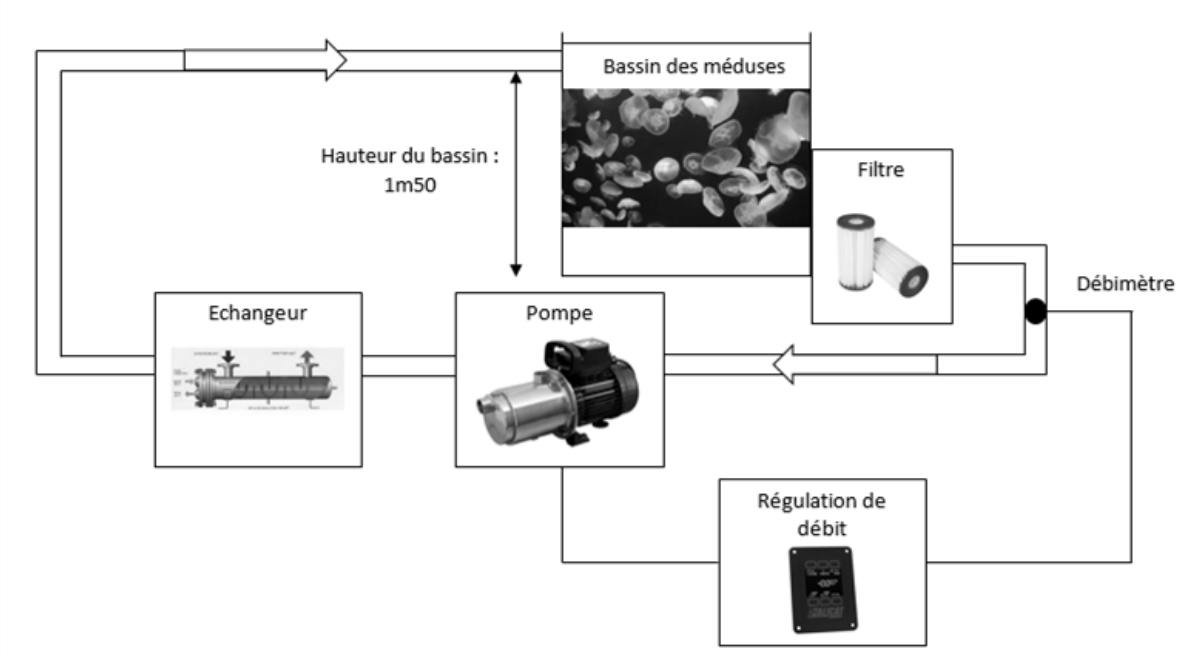
Question C.3 DTS7	**Mesurer** l'erreur statique constatée sur la simulation du démarrage de l'installation donnée sur le document DTS7. **Conclure** sur le respect ou non du cahier des charges.

Question C.4	**Proposer** une solution technologique permettant de diminuer l'erreur statique et permettre au système de fonctionner au plus près du point de fonctionnement défini dans le cahier des charges.

Conclusion

Question C.5	A la vue des différentes analyses menées dans cette partie et des choix du constructeur, **conclure** sur la capacité du système à assurer la circulation de l'eau dans le respect du cahier des charges.

DTS1 : Schéma de principe de l'installation hydraulique



Diamètre intérieur des canalisations PVC : **16 mm**

DTS2 : formulaire pertes de charges – dynamique des fluides

Pertes de charge dans un réseau fluidique :

On distingue les pertes de charges régulières (dues aux frottements dans une canalisation de géométrie constante) et les pertes de charges singulières (dues aux variations de géométrie dans une canalisation).

Pertes de charges singulières :

$$Pdc_S = \xi . P_d$$

Où :

Pdc_S : pertes de charges singulières en Pascal (Pa)
ξ : coefficient de perte de charges singulières (sans dimension)
P_d : pression dynamique en Pascal (Pa)

Pression dynamique :

$$P_d = \rho . \frac{V^2}{2}$$

Où :

P_d : pression dynamique en Pascal (Pa)
ρ : masse volumique (eau de mer : 1020 kg·m^{-3})
V : vitesse d'écoulement du fluide en m.s^{-1}

Lien entre débit et vitesse d'écoulement

$$\mathrm{V} = \frac{\mathrm{Q_V}}{\mathrm{S}}$$

Où :

V : vitesse d'écoulement en m·s^{-1}
Q_V : débit volumique en m^3·s^{-1}
S : section de la canalisation en m²

Lien entre Pascal et mètre de colonne d'eau

$$1mCE = 9810\ Pa$$

Puissance hydraulique

$$P_{hyd} = Q_V . \Delta P$$

Où :

P_{hyd} : puissance hydraulique en Watt (W)
Q_V : débit volumique en m^3·s^{-1}
ΔP : différence de pression aux bornes de la pompe en Pascal (Pa)

DTS3 : documentation technique Pompe EheimCompactOn 1000

La pompe pour aquarium CompactOn 1000 possède un débit variable de 400 à 1000L·h^{-1}, assurant le bien-être des poissons en silence.

À la fois pompe de brassage et pompe de refoulement, la grille d'aspiration garantit une protection maximale pour la faune qui vit dans l'aquarium.

Économique et très compacte, elle ne prend pas beaucoup de place et de puissance absorbée 15 W.

La pompe EheimCompactOn 1000 protège vos poissons de toutes les impuretés qui s'installent régulièrement dans leur lieu de vie.

Caractéristiques :

- pompe pour aquarium de 450 L
- débit : 400 à 1000 L·h^{-1}
- assure le bien-être
- silencieuse
- grille d'aspiration
- totalement submersible
- puissance électrique 15W
- hauteur de refoulement : 6m

DTS4 : mesures de la consommation électrique de la pompe

DTS5 : choix du gradateur

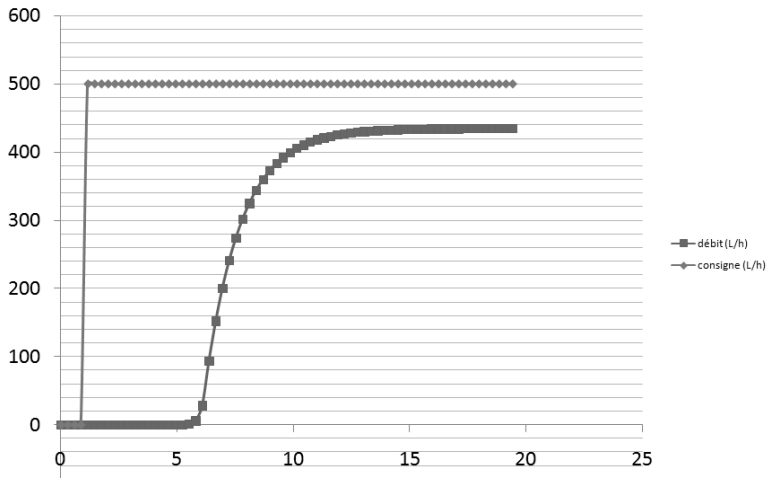
Référence	009100	009101	008200	008201
Type de gradateur	Train d'ondes	Train d'ondes	Angle de phase	Angle de phase
Fréquence d'alimentation	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Tension d'alimentation	1x230 V	1x230 V	1x230 V	1x230 V
Intensité Moteur	2A	9A	2A	9A
Prix	180 € HT	210 € HT	230 € HT	260 € HT

DTS6 : caractéristiques techniques du débimètre choisi

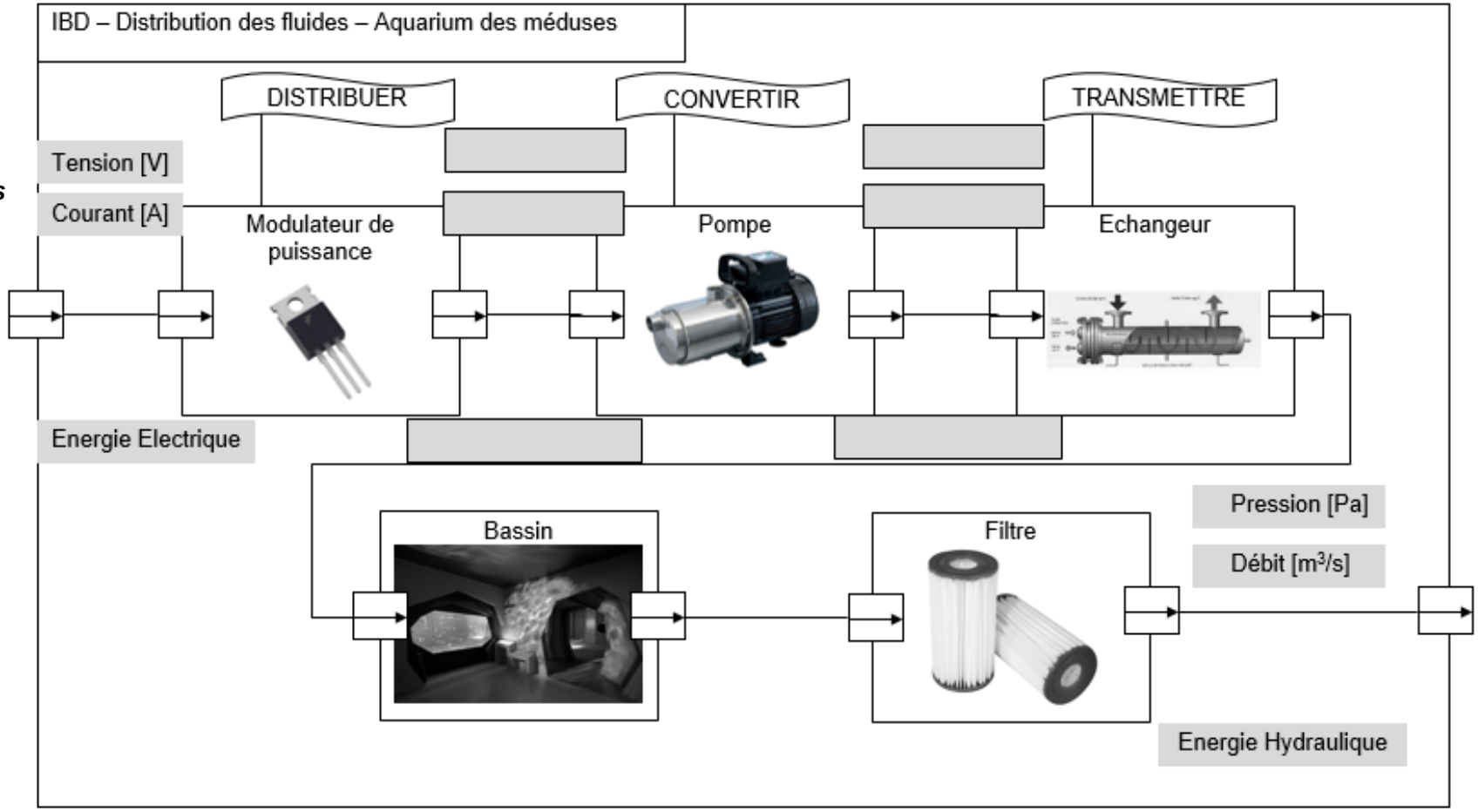
Étendue de la mesure	0 à 750 $L \cdot h^{-1}$
Sortie	0 – 5 V
Température d'utilisation	-10° … +60°C
Pression maximale d'utilisation	8 bars sous 40°C
Protection	IP 67
Précision de la mesure	$\pm$ 2%

DTS7 : résultats de la simulation lors du démarrage du système

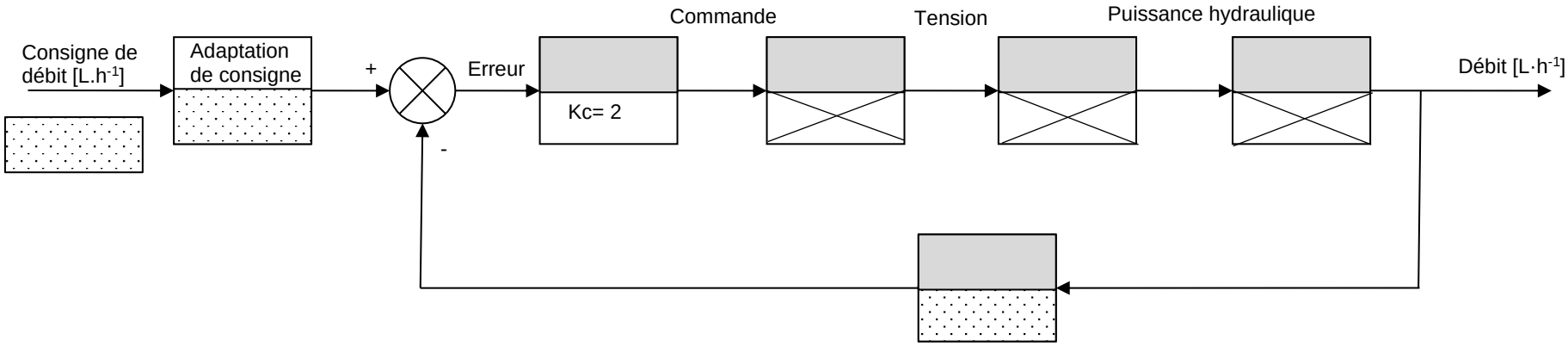
Débit (consigne et Simulation) en L/h en fonction du temps en s



DOCUMENT RÉPONSE DRS1



DOCUMENT RÉPONSE DRS2



Noms des appareils

Valeurs numériques