

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

Durée de l'épreuve : **4 heures**

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

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

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

Ce sujet comporte 34 pages numérotées de 1/34 à 34/34.

Constitution du sujet :

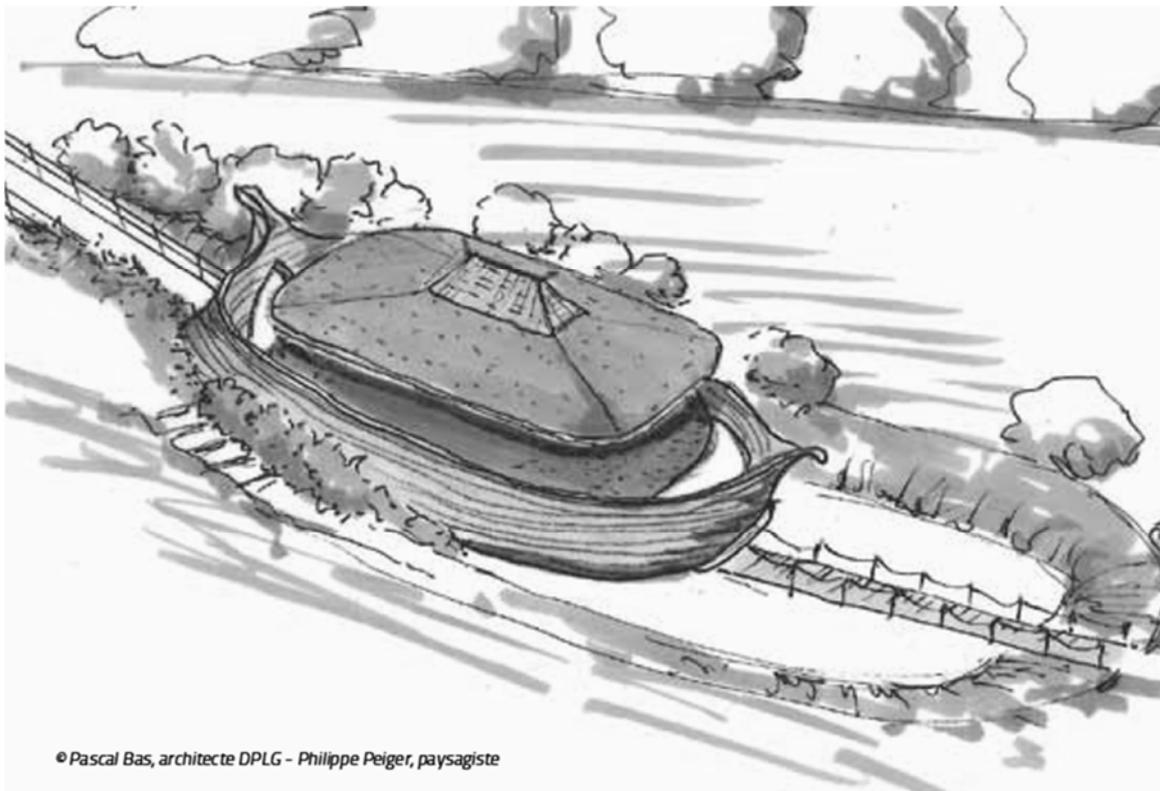
Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

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 menacés

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.

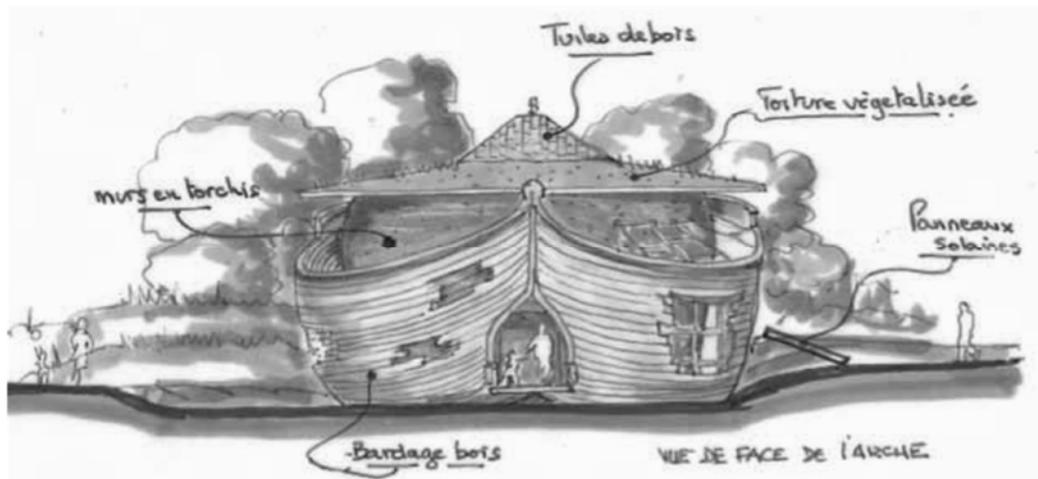
L'ensemble de la structure est, de plus, conçue pour un accès intégral aux personnes à mobilité réduite dans un esprit et un design totalement innovant pouvant attirer un public en grand nombre.

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

Mise en situation

DT1

- 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.

béton de chanvre poteau porteur

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 | **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 CO2 total rejeté, à l'aide des données du DT3.

DT3

Question 1.3 | **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 CO2 total rejeté, à partir du DT3.

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 | **Calculer** le rapport énergie totale acier / énergie totale bois, à partir du DT3. **Calculer** ensuite le rapport équivalent en kg de CO₂ total acier / équivalent en kg de CO₂ total bois, toujours à partir du DT3.

DT3

Justifier à l'aide de ces rapports le choix de la structure bois issue d'une production locale.

Matériau isolant sur les parois

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 granulats léger d'origine végétale (le chanvre) et d'un liant minéral (la chaux). Comme tout végétal, le chanvre absorbe et stocke du CO₂ pendant sa phase de croissance.

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

Question 1.5 | **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.

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 | **Relever**, sur le DT5, la valeur de CO₂ émis par le béton de chanvre durant son cycle de vie.

DT5

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 | **Relever** les épaisseurs minimale et maximale des murs, données sur les plans du DT6 (coupe AA). **Calculer** l'épaisseur moyenne

DT6

DR1

$$e_{\text{moy}} = (e_{\text{max}} + e_{\text{min}}) / 2.$$

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 | **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.

DT7

DR1

Question 2.3 | **Identifier** les valeurs des résistances superficielles extérieures et intérieures d'une paroi verticale en utilisant le DT8. **Indiquer** ces valeurs sur le DR1.

DT8

DR1

Calculer la résistance thermique totale de la paroi. **Indiquer** cette valeur sur le DR1.

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

DT7

DR1

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

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

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 1^{er} octobre au 30 avril**, soit **212 jours**. En raison de la forme arrondie de la paroi, le coefficient de transmission thermique moyen est **$U_P = 0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$** .

Question 2.6 | **Calculer** la température extérieure moyenne durant la période de chauffe à l'aide des informations du DT9.
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 | **Calculer** l'énergie thermique perdue au travers des parois verticales en béton de chanvre en kW·h durant la période de chauffe.
DR2

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 | **Comparer** les valeurs des déperditions obtenues par simulation avec celles calculées par l'étude.
DT10

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

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

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

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

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 | **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.
DT13

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.

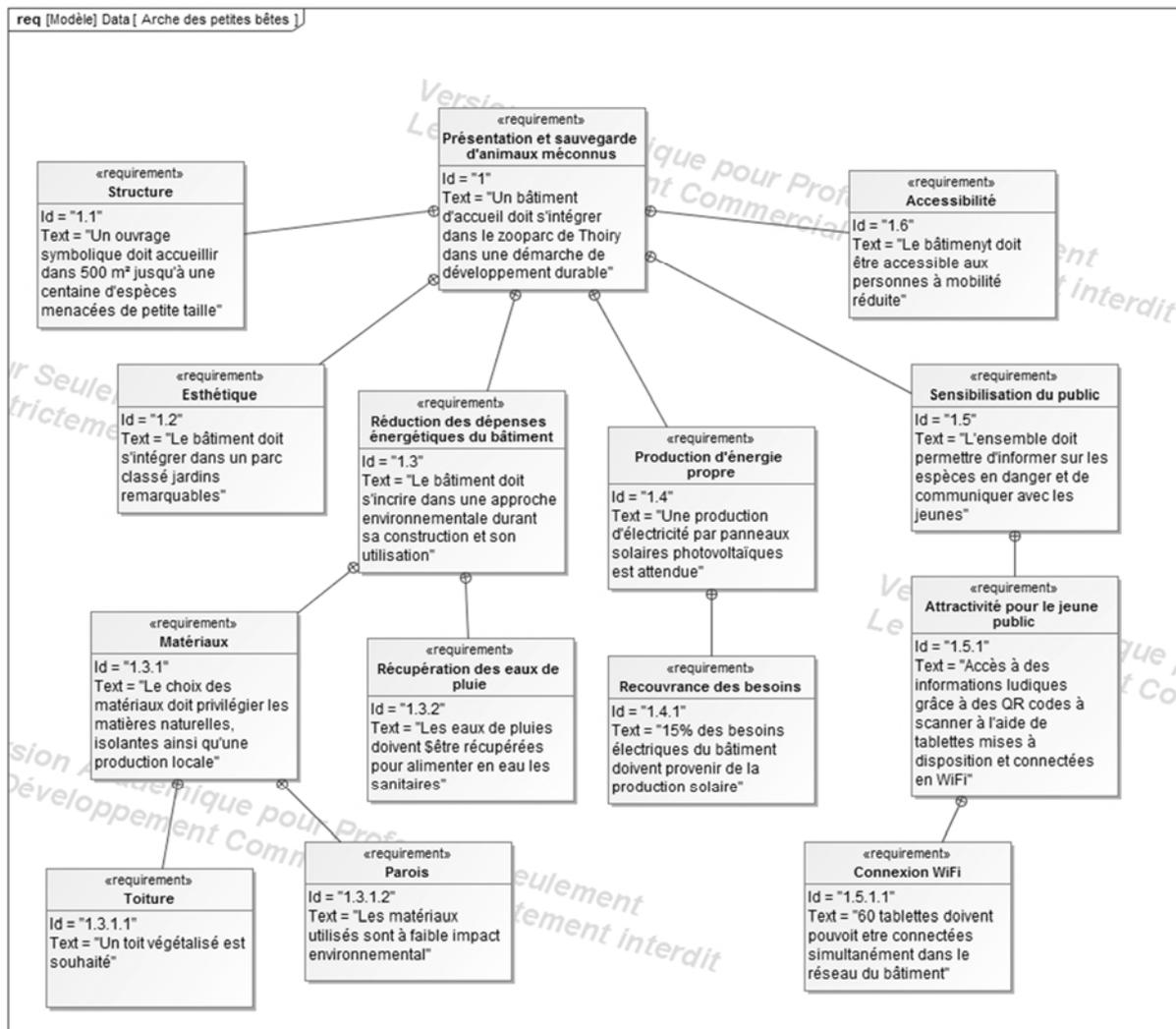
Le plan d'installation du réseau informatique déjà en place est présenté sur le Document Technique DT14.

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.

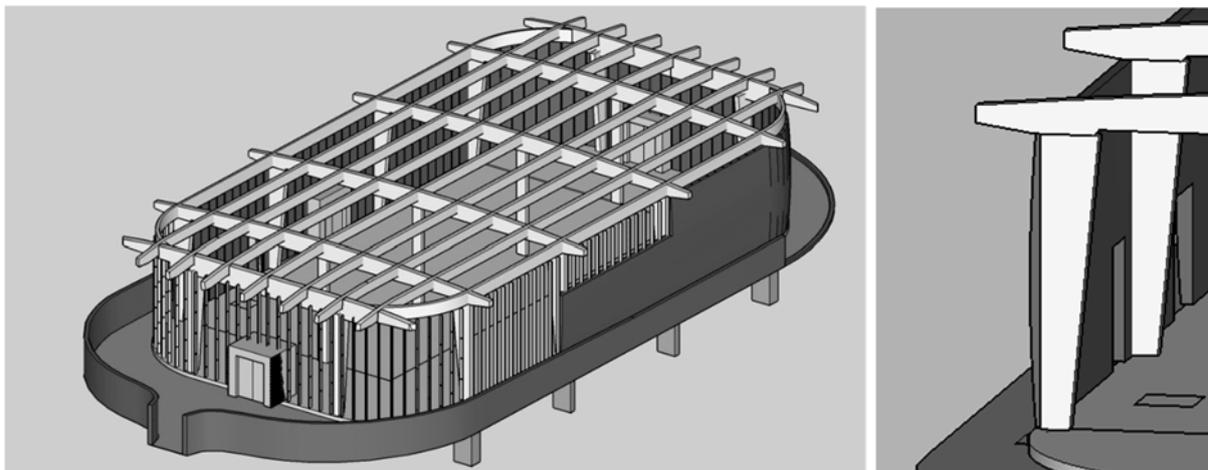
Conclusion générale

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

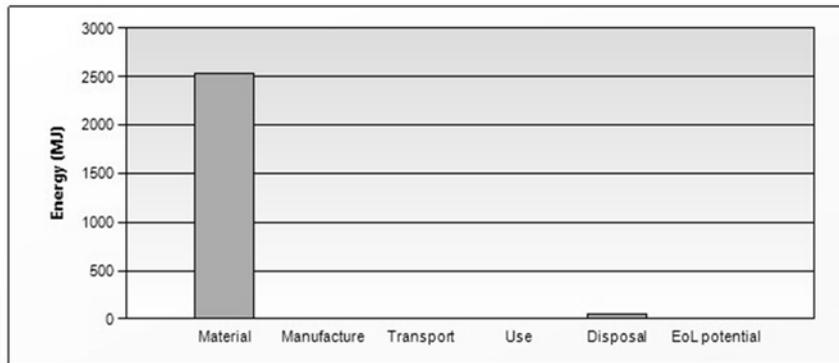
Material : Matériaux - Manufacture : Fabrication - Transport : Transport - Use : Utilisation
 Disposal : Fin de vie - EoL potential : Recyclage potentiel



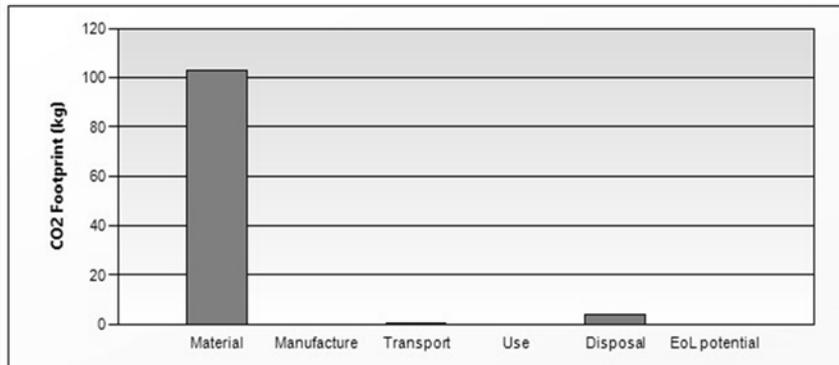
Version installée en bois lamellé-collé

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



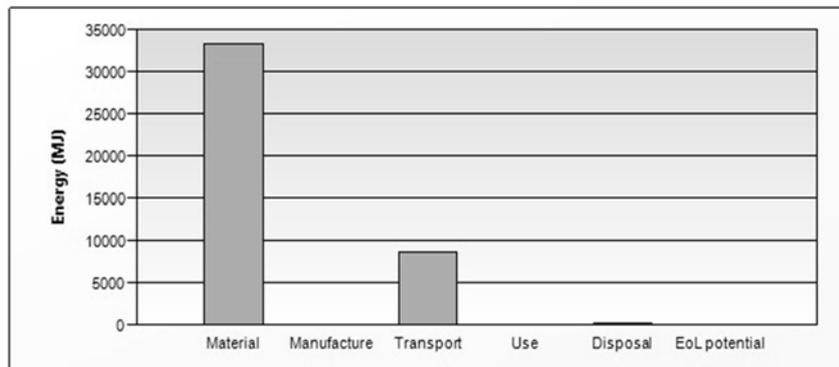
Energy Details...



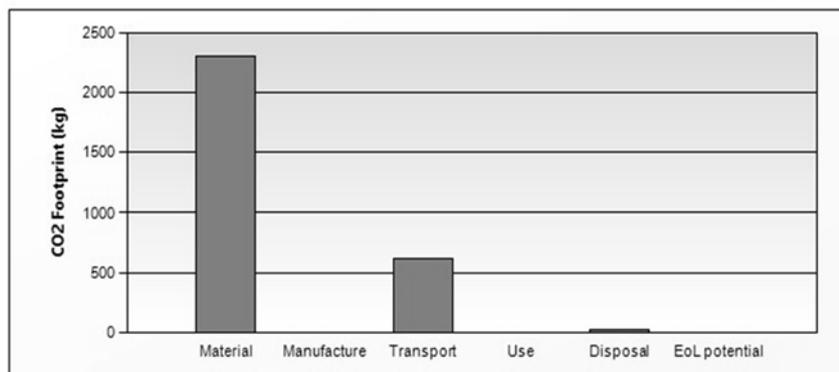
Version comparative en acier

Paramètres de simulation :

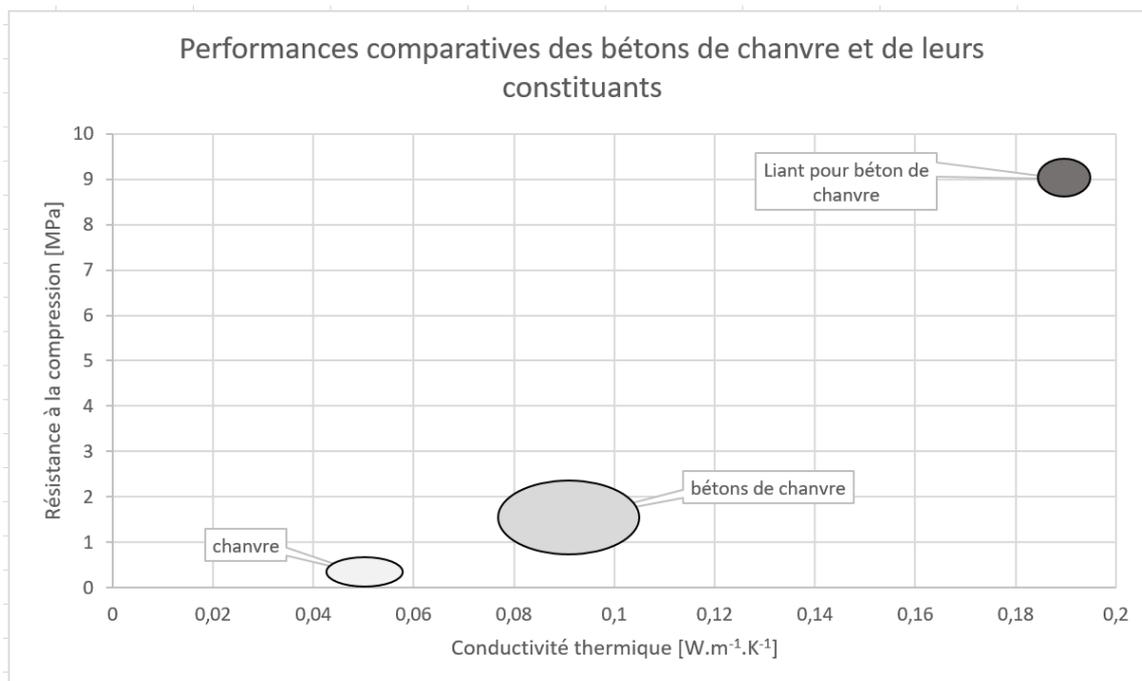
- Poteau en acier épaisseur 50 mm
- Masse de 1270 kg.
- Cycle de vie de 50 ans,
- Transport par camion 32 tonnes
- Distance parcourue du lieu de fabrication au chantier de construction : 1500 km



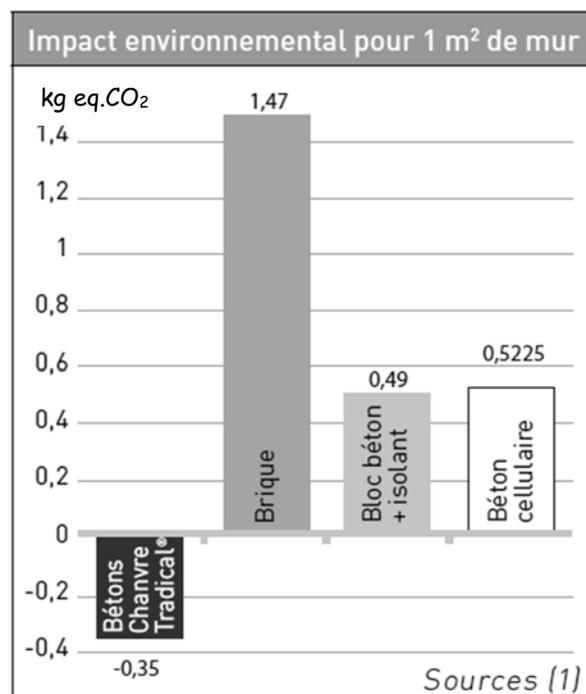
Energy Details...



DT4 : performances des bétons de chanvre suivant trois critères



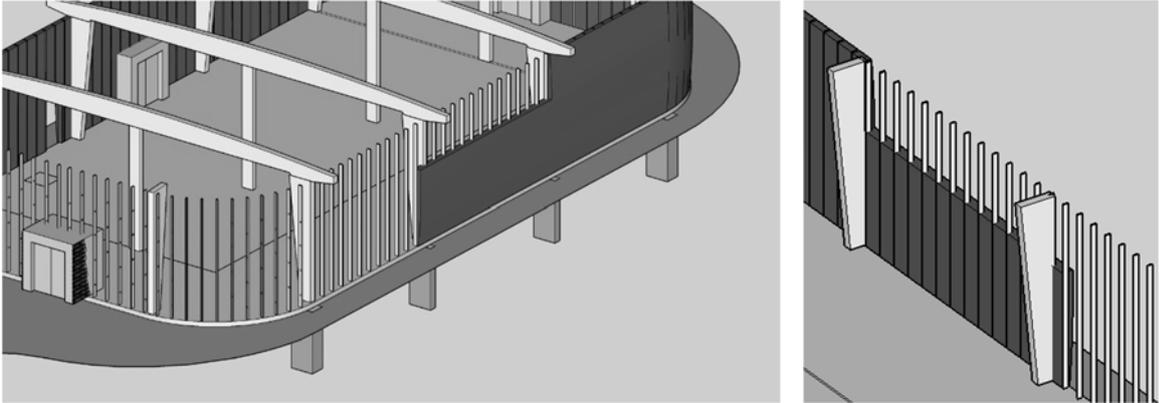
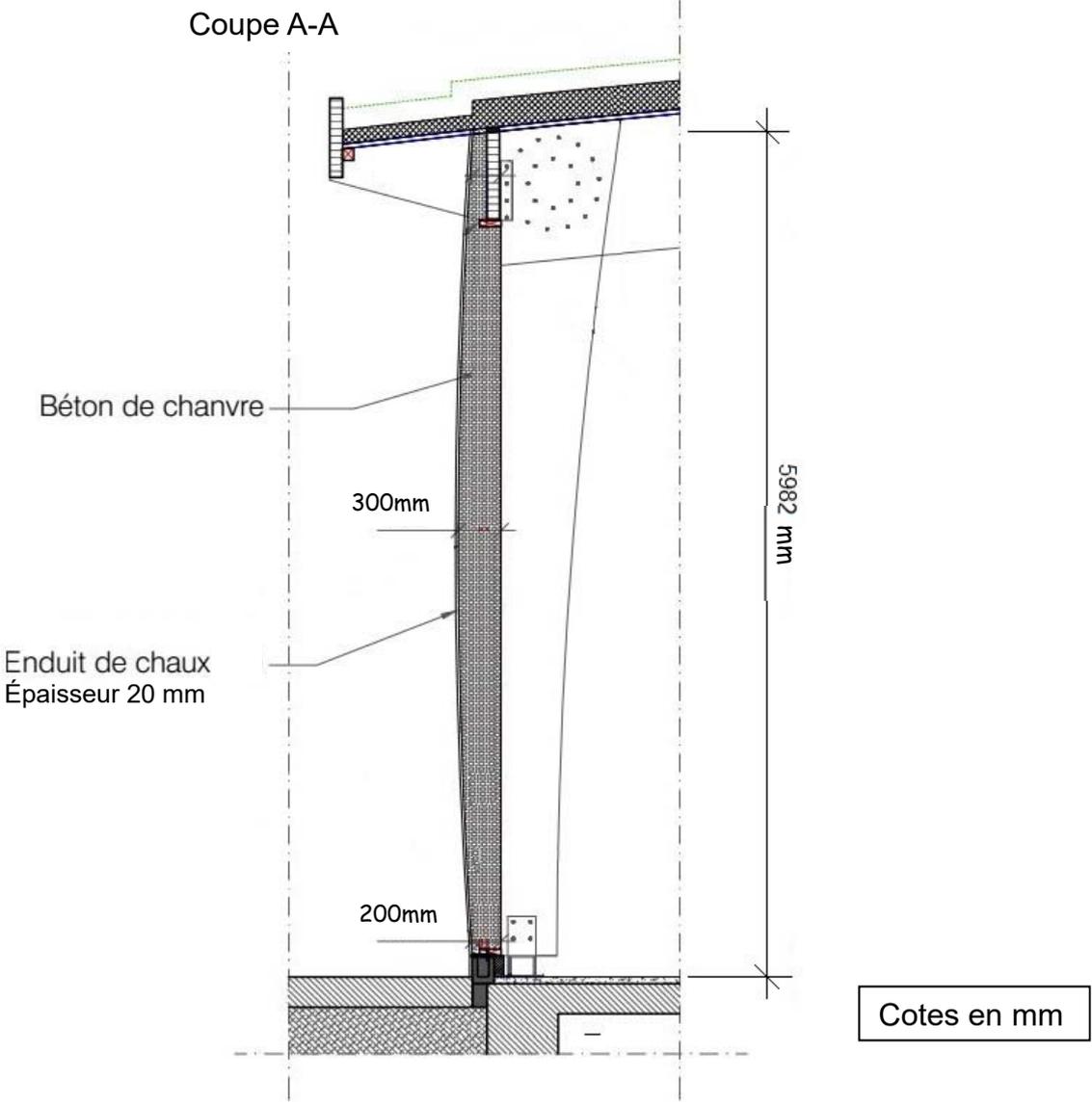
DT5 : émissions des gaz à effet de serre (en kg eq. CO₂) sur l'ensemble du cycle de vie de différents types de parois



(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 U_p ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	Maximum réglementaire U_{max} ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
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 :

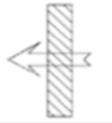
La résistance thermique (R_{th}) d'une couche de matériau de conductivité thermique (λ) et d'épaisseur (e) est :

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

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 (m ² .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	
		R _{si}	R _{se}	R _{si}	R _{se}
	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

R_{si} : Résistance superficielle intérieure / R_{se}: Résistance superficielle extérieure

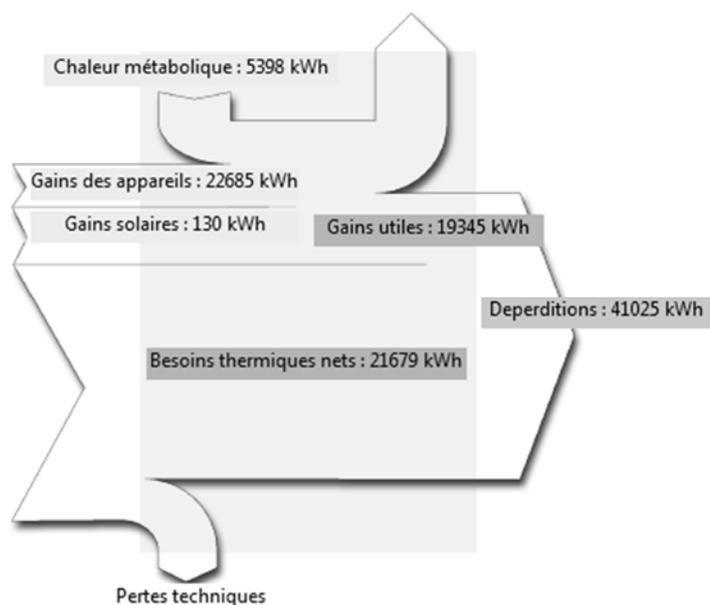
DT9 : données climatiques de Thoiry

	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

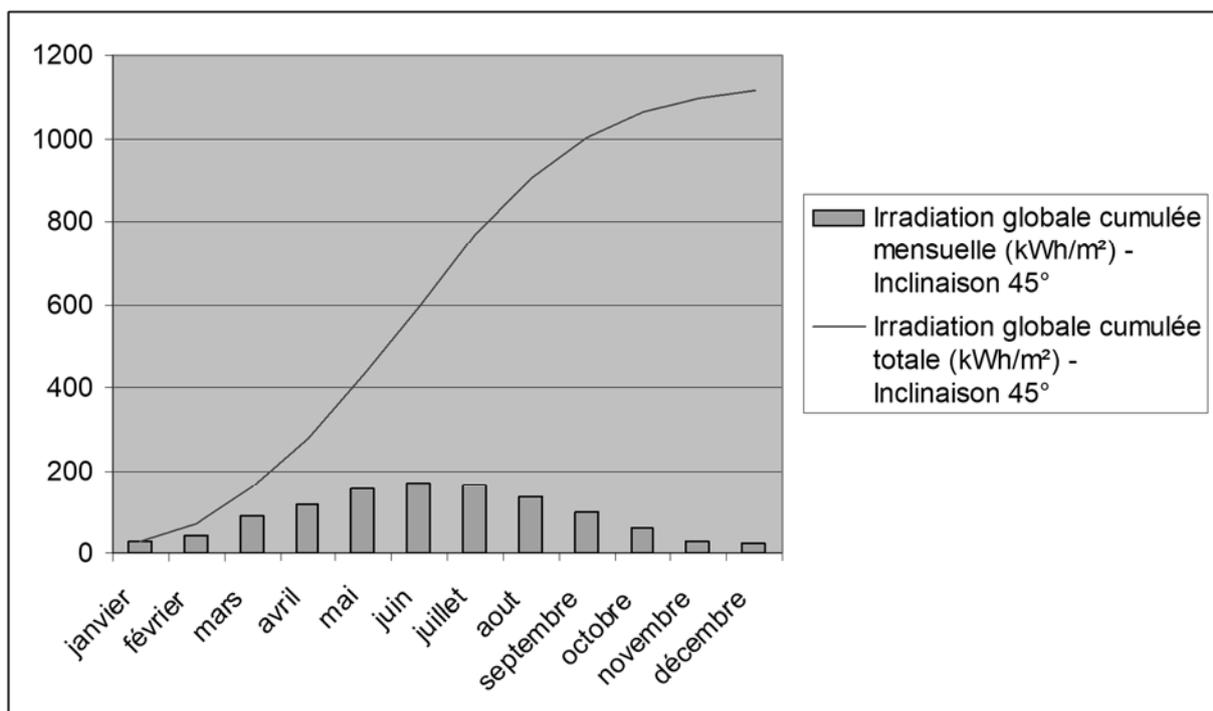


DT11 : irradiation solaire pour la commune de Thoiry pour différents plans inclinés

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
août	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

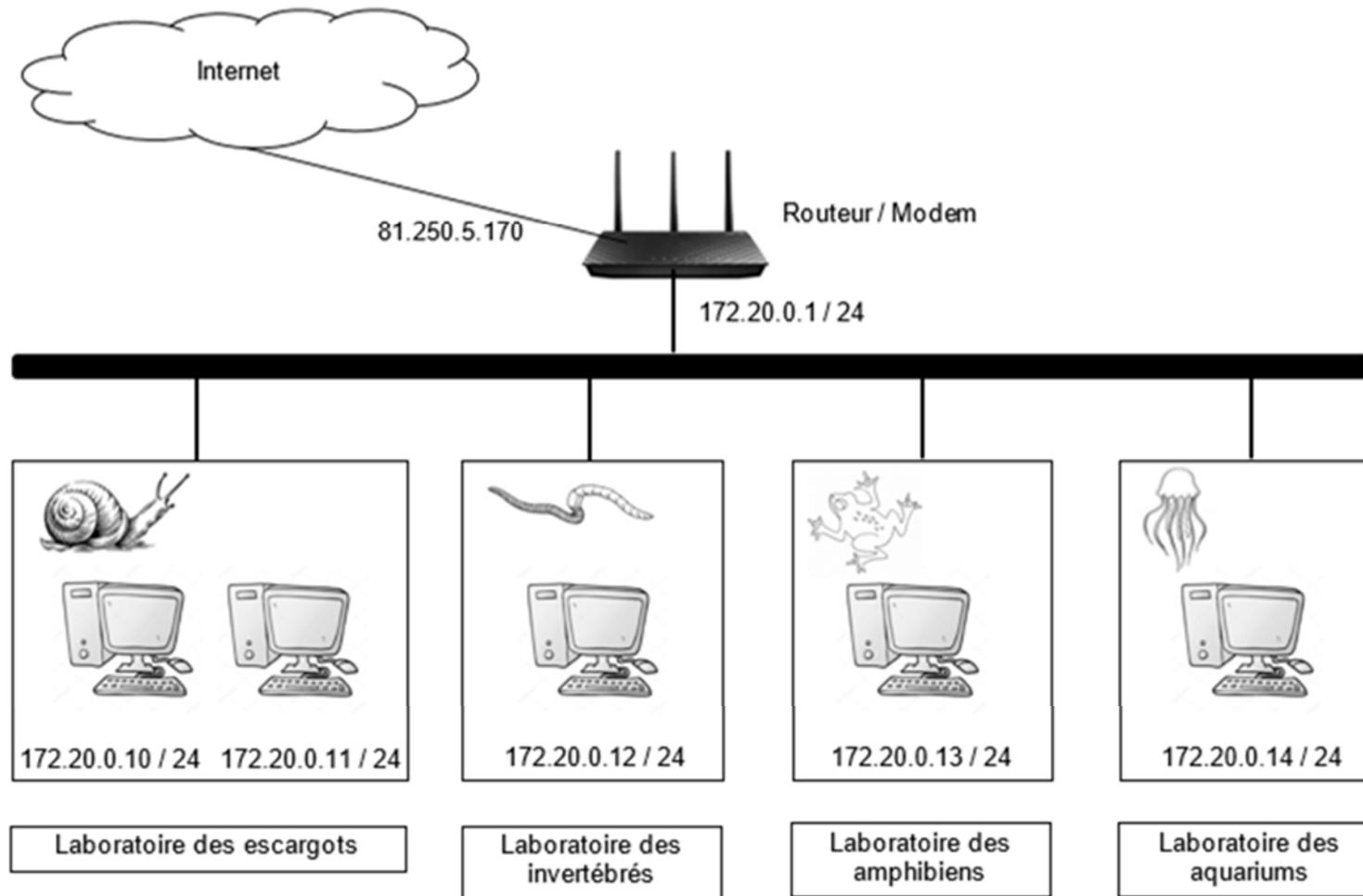
Garantie constructeur: 20 ans

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):

$U_p =$

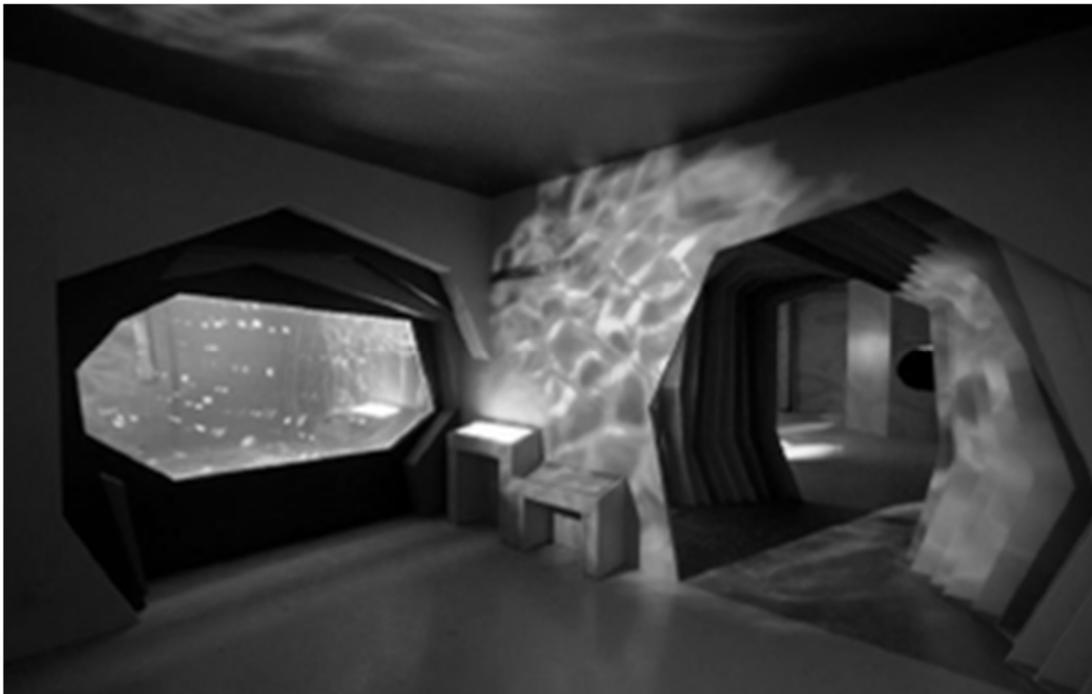
DOCUMENT RÉPONSES DR2

Calcul des déperditions thermiques :

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

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

Protection des méduses – la zone Océan



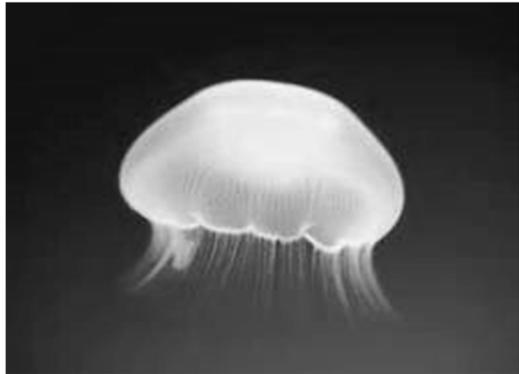
- **Présentation de l'étude page 24**
- **Questionnement pages 25 à 28**
- **Documents techniques spécifiques DT S1 à DT S4 pages 29 à 32**
- **Documents réponses DR S1 à DR S2 pages 33 à 34**

Dans la partie spécifique, vous devez choisir de traiter la partie B (choix 1) ou la partie D (choix 2).

Les autres parties A, C et E sont 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 (tortue marine, thon, 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 la nature), 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 conçu pour créer un flux d'eau continu ;
- il a des formes arrondies afin que les méduses ne puissent pas se bloquer dans les coins ;
- une filtration est assurée pour que les méduses ne soient pas aspirées ;
- la température optimale est comprise entre 18 et 22 °C.

Travail demandé

Problématique : comment garantir la température de l'eau satisfaisante pour les méduses dans l'aquarium ?

Le constructeur de l'installation décide d'utiliser une sonde de température de type PT100. Cette sonde convertit une température en résistance électrique (Ω). Un montage de type Pont de Wheatstone est alors utilisé pour obtenir une image de la température sous la forme d'une tension continue qui doit être comprise entre 0V et 5V. Cette tension est ensuite convertie en signal numérique afin d'être traitée dans un régulateur Tout Ou Rien. Le signal de commande en sortie du régulateur est transmis au système de pilotage grâce à un bus de terrain de type KNX.

La précision voulue en terme de mesure de température est de 0,5°C.

Le cahier des charges impose le contrôle de la température dans le bassin toutes les secondes et qu'elle reste toujours comprise entre 18°C et 22°C.

Partie A : comment acquérir la température de l'eau ?

La structure de la chaîne d'information est donnée sur le DR S1

Question A.1
DR S1

Indiquer la nature et le type d'information qui circule entre les différents éléments en complétant le DR S1.

- Liste des mots utilisables pour le type d'information (ligne du haut) : température, tension, résistance ;
- liste des mots utilisables pour la nature des informations (ligne du bas) : numérique, analogique.

Le concepteur de l'aquarium a choisi une sonde de température de type PT100 dont les caractéristiques sont données dans le DT S1. Pour garantir une plage de mesure suffisante, on souhaite être en capacité de mesurer une température comprise entre 0°C et 55°C.

Question A.2
DT S1

Justifier l'emploi d'une sonde PT100 pour mesurer la température, à partir des données du cahier des charges et des données techniques du DT S1.

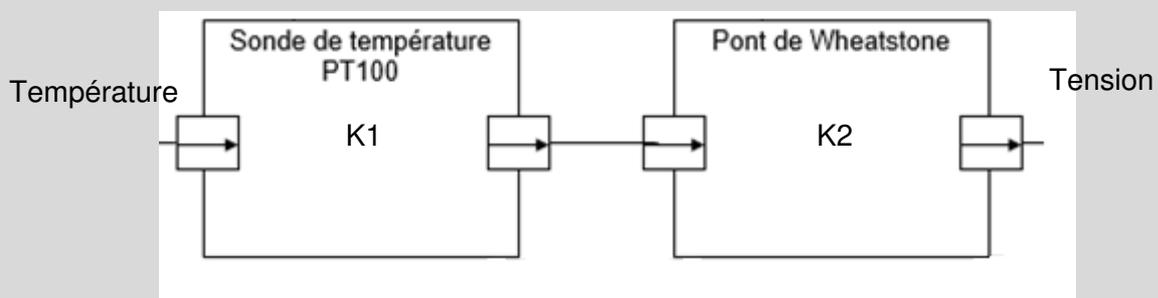
Question A.3
DT S1

Relever les valeurs de résistances de la PT100 correspondant aux valeurs extrêmes que l'on souhaite pouvoir mesurer.

Choix 1

Partie B : comment adapter le signal de la mesure de température ?

Le système d'adaptation choisi est un pont de Wheatstone dimensionné pour donner les résultats présentés dans le DT S2. La figure suivante représente la chaîne d'acquisition du système :



Question B.1

Calculer la valeur de K, coefficient de transfert de la chaîne de mesure.

Question B.2	<p>Conclure sur le respect ou non du cahier des charges en termes de plage de température mesurée et en termes de plage de tension en sortie du capteur pour ce modèle de pont de Wheatstone, à partir :</p>
DT S1	<ul style="list-style-type: none"> • des résultats de la question précédente ;
DT S2	<ul style="list-style-type: none"> • des résultats présentés sur le DT S2.
<p>La tension de sortie du pont de Wheatstone est convertie en valeur numérique via un convertisseur analogique/numérique</p>	
<p>On considérera que la tension en entrée du convertisseur varie entre 0 et 5V pour une température variant entre 0 et 55°C.</p>	
<p>Le concepteur du système a choisi d'utiliser un convertisseur 8 bits, avec une plage d'entrée de 0 à 5V.</p>	
Question B.3	<p>Calculer le quantum du système d'acquisition en degrés Celsius (°C) sur la plage de température définie.</p>
Question B.4	<p>Conclure sur la capacité du système à respecter le cahier des charges.</p>

Partie C : comment réguler la température de l'eau ?

Pour la suite du sujet, on considérera que le quantum du système d'acquisition est de 0,21°C. La température de consigne est réglée à 20°C. On rappelle que le cahier des charges impose une température comprise entre 18°C et 22°C.

Le DT S3 rappelle le fonctionnement d'un régulateur TOR à hystérésis.

Question C.1	<p>Déterminer, en décimal puis en hexadécimal, les 2 valeurs des seuils à programmer dans la partie initialisation de l'algorithme pour respecter le cahier des charges.</p>
DT S3	

Question C.2	<p>Compléter la partie initialisation de l'algorithme du DR S2.</p>
DR S2	

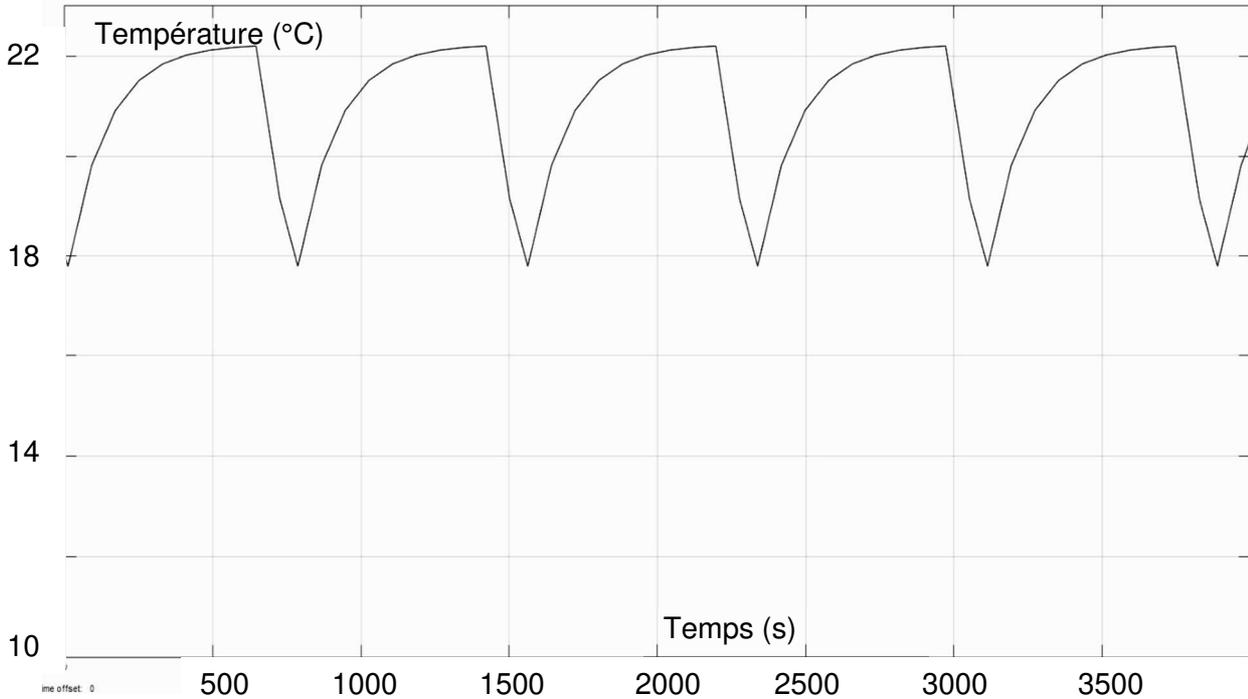
La transmission de l'information au système se fait grâce à un bus de terrain numérique. Il est donc nécessaire que la sortie du régulateur soit codée sur un octet.

Question C.3

DT S3
DR S2

Compléter la partie TOR de l'algorithme du DR S2 en indiquant les valeurs hexadécimales de commande COM à envoyer au système de chauffe.

La figure suivante montre le résultat de la simulation du système piloté par le régulateur TOR. On peut voir l'évolution de la température en fonction du temps.



Question C.4

Conclure sur la capacité du système de régulation à respecter le cahier des charges, compte tenu de la précision attendue.

En vue de l'amélioration de la qualité de vie des méduses, on souhaite diminuer les variations de température au sein de l'aquarium. Le nouvel écart voulu est de 2°C autour des 20°C de consigne.

Question C.5

Proposer une modification dans le système de régulation qui permettrait de réduire l'écart de température.

Choix 2

Partie D : comment assurer un contrôle de l'information suffisamment rapide ?

Le constructeur de l'installation a choisi un bus de terrain de technologie EIB avec protocole KNX. Le document technique DT S4 rappelle les caractéristiques de ce type de bus.

Question D.1

DT S4

Déterminer le nombre de bits composant un télégramme, sachant que le régulateur doit fournir une seule donnée au système de chauffe.

Question D.2

DT S4

Déterminer le nombre de capsules, puis le nombre total de bits à transmettre, afin de délivrer un télégramme, en tenant compte du fonctionnement du bus KNX.

Question D.3

DT S4

En déduire le temps ($t_{\text{transmission}}$) mis par le bus pour transmettre l'ordre de chauffe ou de non-chauffe au système de chauffage.

On estime le temps d'acquisition et le temps de cycle du calculateur aux valeurs suivantes :

$t_{\text{acquisition}} = 10,8 \text{ ms}$ et $t_{\text{calcul}} = 100 \text{ ms}$

Rappel : le cahier des charges impose un contrôle de la température toutes les secondes.

Question D.4

Conclure sur le respect ou non du cahier des charges en termes de temps de traitement global des informations.

Partie E : conclusion générale.

Question E.1

Conclure sur les solutions mises en œuvre pour respecter le cahier des charges en terme de contrôle de la température dans le bassin des méduses.

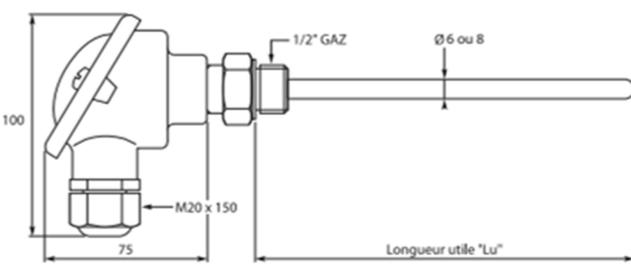
DT S1 : Sonde PT100

Les sondes de température de type platine (PRTD – Platinum Resistance Temperature Detector) sont des capteurs d'un emploi courant dans l'industrie en raison de leur grande fiabilité. Les principaux modèles rencontrés sont référencés PT100, PT500, PT1000, ce qui indique la valeur de la résistance électrique nominale à 0°C.

SONDE PT100



A VISSER AVEC TÊTE DE RACCORDEMENT DE TYPE B



OPTIONS

- Gaine de protection recouverte PTFE (température maxi 200 °C)
- Tête à verrouillage rapide ou tête PVC
- Sortie analogique par convertisseur
- Autre longueur, autre diamètre ou autre raccord sur demande

Gaine de protection : acier inox 316 L - Ø 8 x 1 mm ou Ø 6 x 0,4 mm

Sonde : Pt 100 céramique DIN IEC 60751 classe A, simple ou double enroulement en montage 3 fils (2 ou 4 fils sur demande)

Raccord : 1/2" GAZ cylindrique mâle en acier inox 316 L

Tête de raccordement : type B en alliage d'aluminium revêtu epoxy,

sortie de câble par presse-étoupe polyamide (M20 x 150), Ø de serrage de 5 à 12 mm

Température d'utilisation : -50 à +450 °C

Réf.	BOSI	"Lu"	"Ød"	type de sortie	
50 mm	50	1 x Pt 100	1	Ø 6 mm	-6
100 mm	100	2 x Pt 100	2	Ø 8 mm	-8
150 mm	150				
200 mm	200				
250 mm	250				
300 mm	300				
350 mm	350				
400 mm	400				
500 mm	500				
600 mm	600				
750 mm	750				
1000 mm	1000				

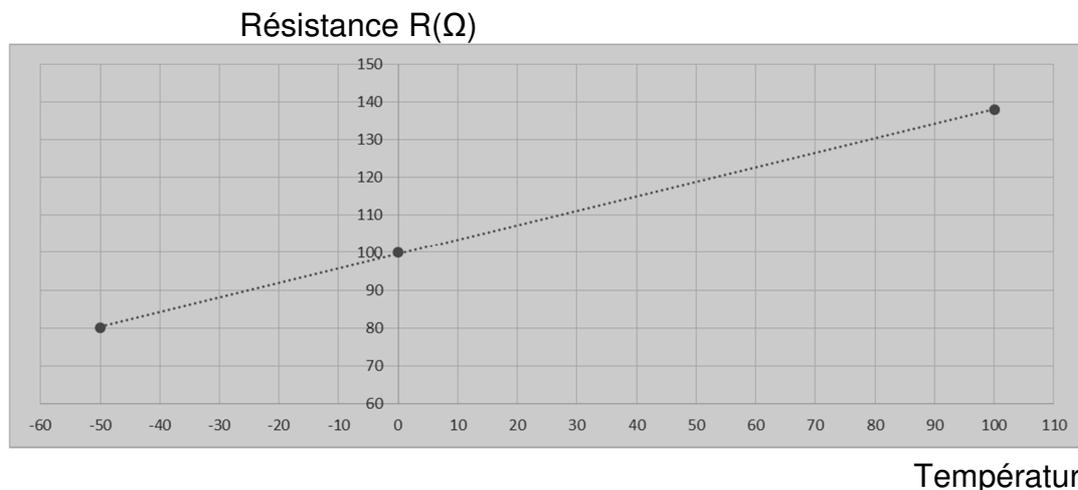


Convertisseurs
(voir pages 132 à 145)



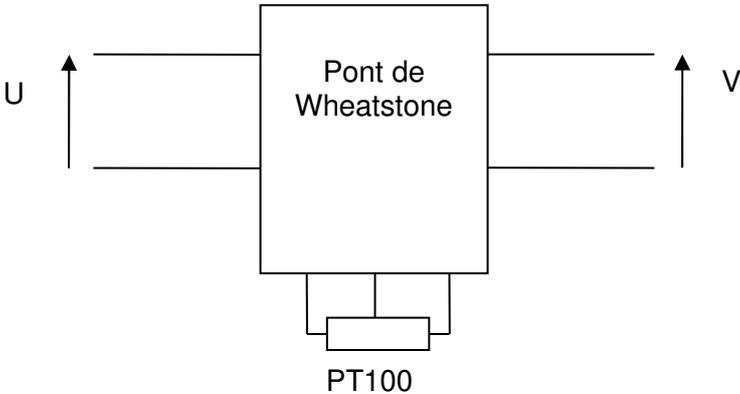
Doigts de gant
(voir pages 101 à 103)

Courbe caractéristique :



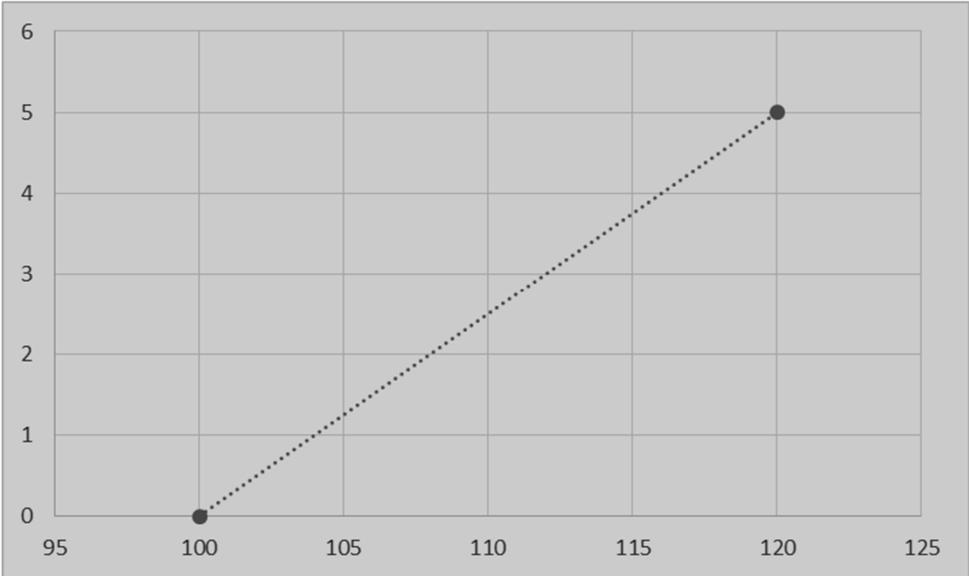
DT S2 : Pont de Wheatstone

Montage d'un pont de Wheatstone :



Courbe caractéristique :

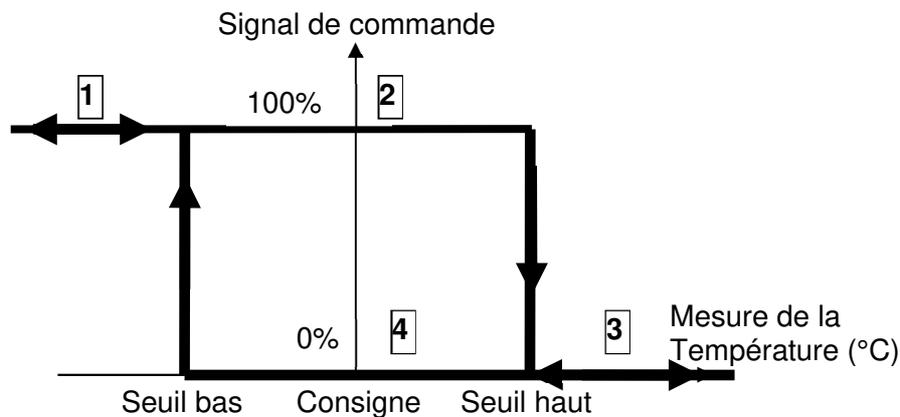
Tension de sortie V(V)



Résistance de sonde $R_{PT100}(\Omega)$

DT S3 : Régulateur Tout Ou Rien (TOR) avec Hystérésis

Caractéristique d'un régulateur TOR à hystérésis :



Entrée du régulateur : numérique 8 bits – sortie du régulateur : numérique 8 bits

Cycle de fonctionnement :

1 : La température mesurée est inférieure au seuil bas de la consigne. La commande est à 100% - le signal de commande est \$FF

2 : La température est en train d'augmenter, elle est comprise entre les deux seuils. La commande est à 100% - le signal de commande est \$FF

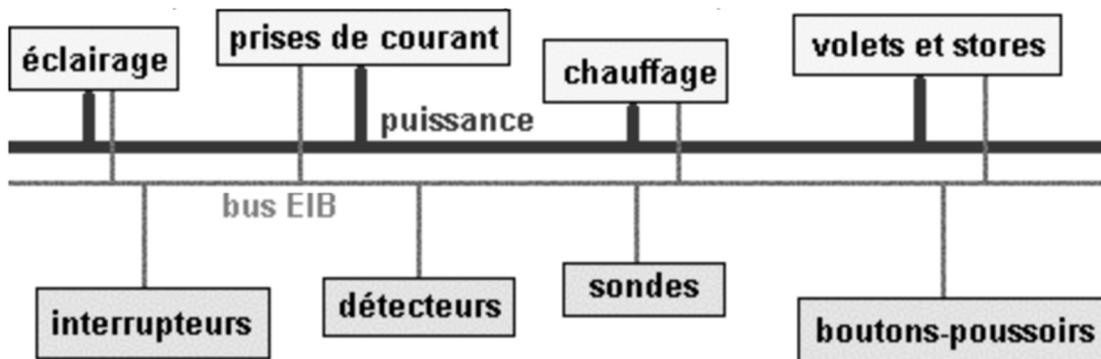
3 : La température mesurée est supérieure au seuil haut de la consigne. La commande est à 0% - le signal de commande est \$00

4 : La température est en train de baisser, elle est comprise entre les deux seuils. La commande est à 0% - le signal de commande est \$00

DT S4 : Bus EIB – Standard KNX

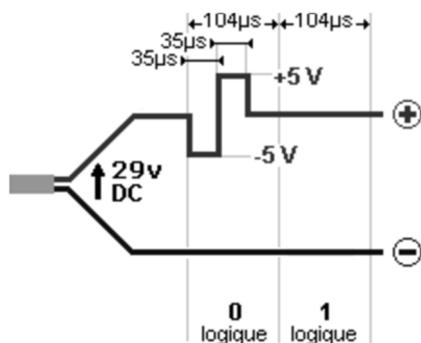
Architecture d'une installation EIB – KNX

Le circuit de puissance est alimenté en 230V ou 400V / 50 Hz. Le circuit de commande est constitué par une paire torsadée ou par une liaison radio ou infra-rouge. La transmission des données peut aussi se faire par courant porteur sur le circuit de puissance.



Chaque élément connecté au bus EIB/KNX est indépendant des autres éléments. Il est capable d'envoyer un message qui sera "entendu" par les autres éléments, mais traité uniquement par l'élément concerné.

Technique de transmission



Les données qui forment le « message » EIB/KNX sont transmises en mode série différentiel avec un débit de 9600 bits/s.

Le « 0 » logique est un signal alternatif d'amplitude 5 V, superposé au 29 V. Le « 1 » logique correspond à l'absence de signal.

Tous les participants du bus peuvent échanger des informations entre eux à l'aide de télégrammes, découpés en différents champs, du type :

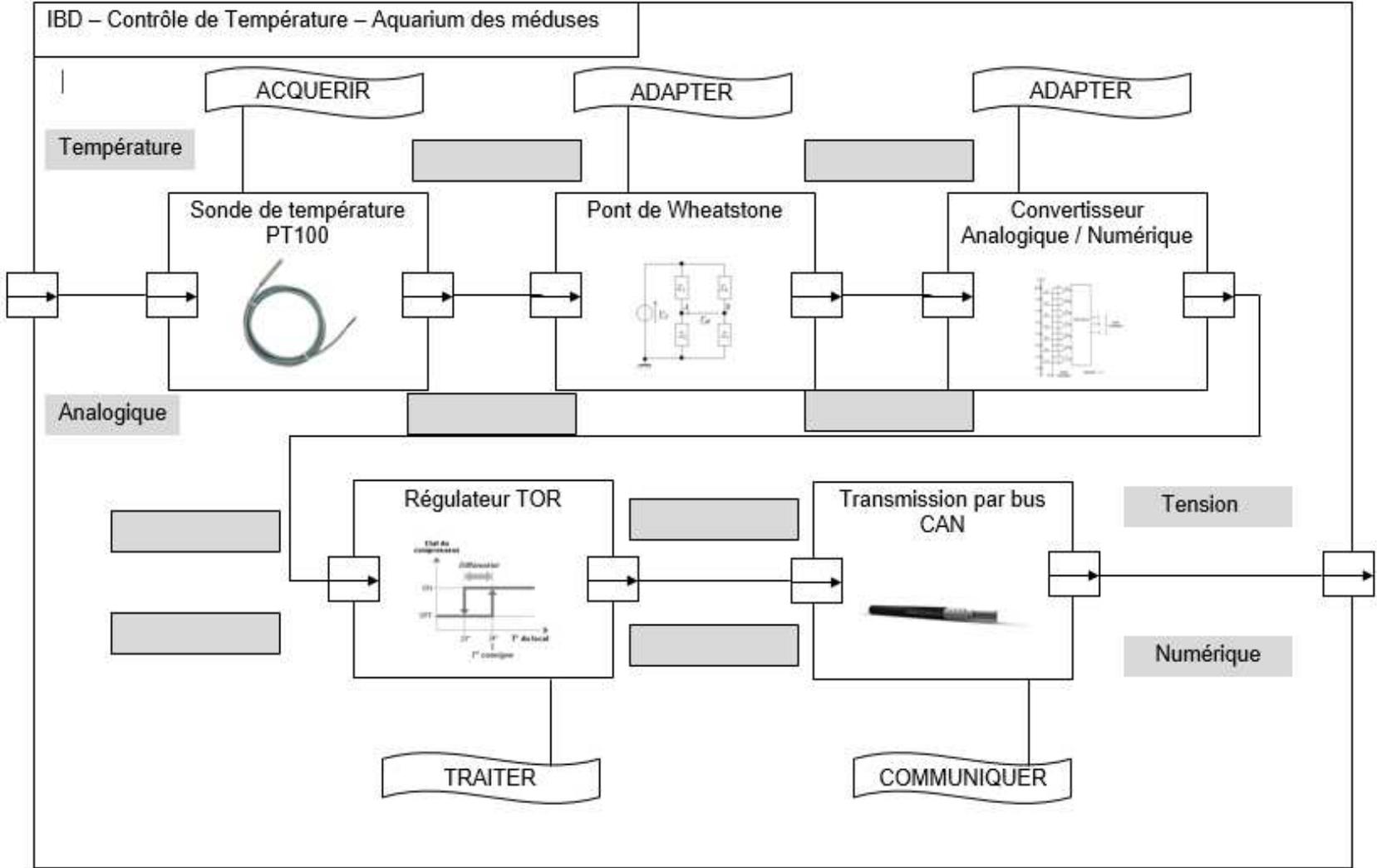
	contrôle	adresse expéditeur	adresse destinataire	compteur de routage	longueur	données	sécurité
bits	8	16	17	3	4	16 x 8 maxi	8

La transmission se fait par capsules. Le format d'une capsule est :

START	Données								Parité	STOP	Pause	
0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	1

START (0 logique) + 8 Données (morceau de télégramme) + Parité Paire + STOP (1 logique) + PAUSE (2 x 1 logique)

DOCUMENT RÉPONSE DR S1



Algorithme de programmation du régulateur TOR :

