

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

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 36 pages numérotées de 1/36 à 36/36.

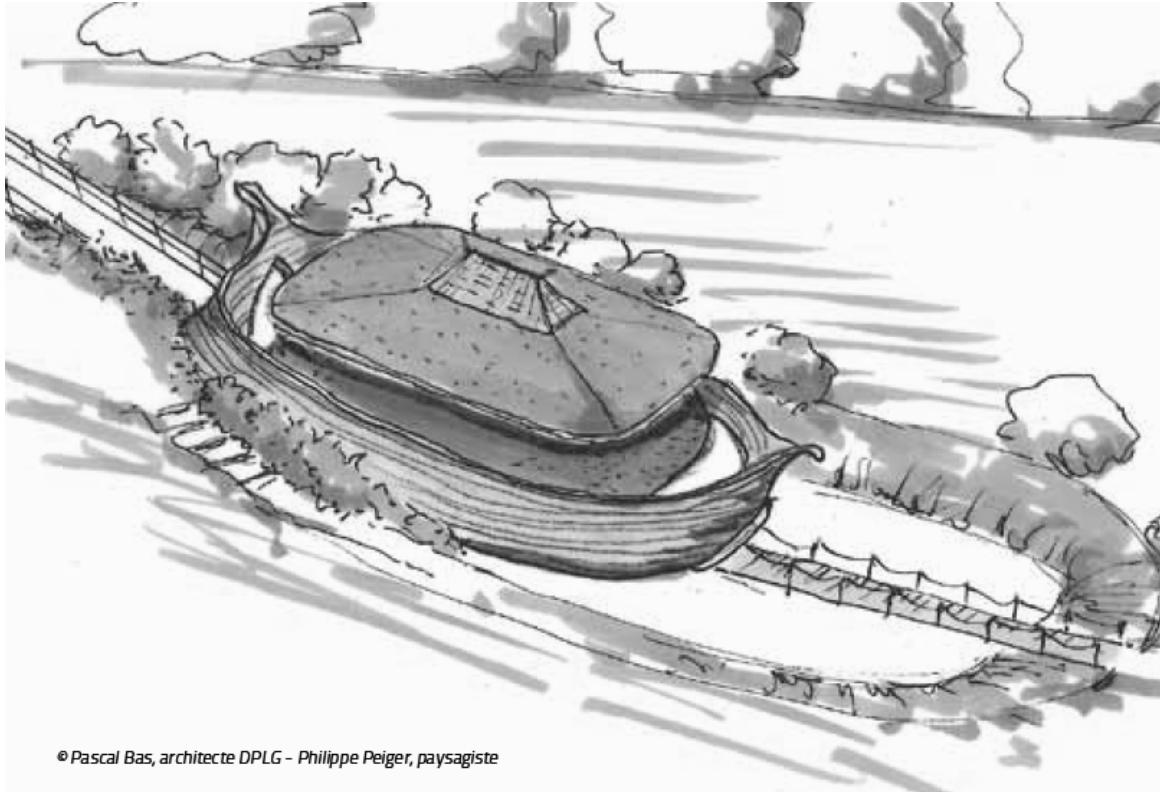
Constitution du sujet :

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



© Pascal Bas, architecte DPLG - Philippe Peiger, paysagiste

- **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.

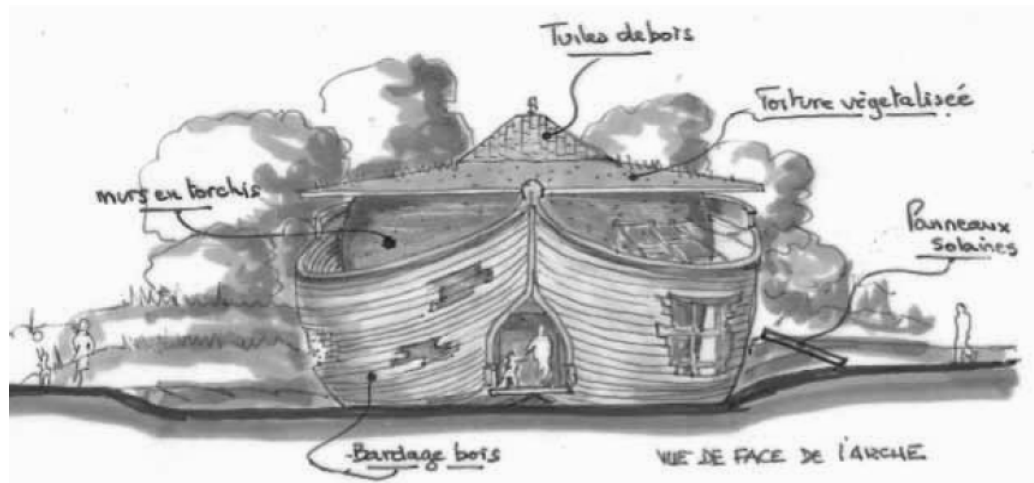
L'ensemble de la structure est, de plus, conçue pour un accès intégral aux personnes à mobilité réduite dans un esprit et un design totalement innovant pouvant attirer un public en grand nombre.

- 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.

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.

béton de chanvre poteau porteur

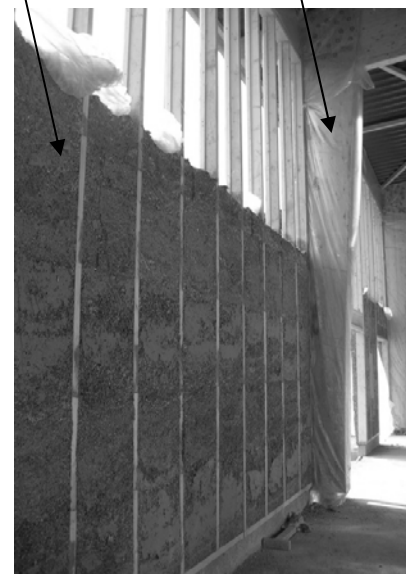


Photo montrant un poteau porteur et les parois en béton de chanvre durant la construction

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
DT3

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.

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
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 CO₂ 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 | **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.

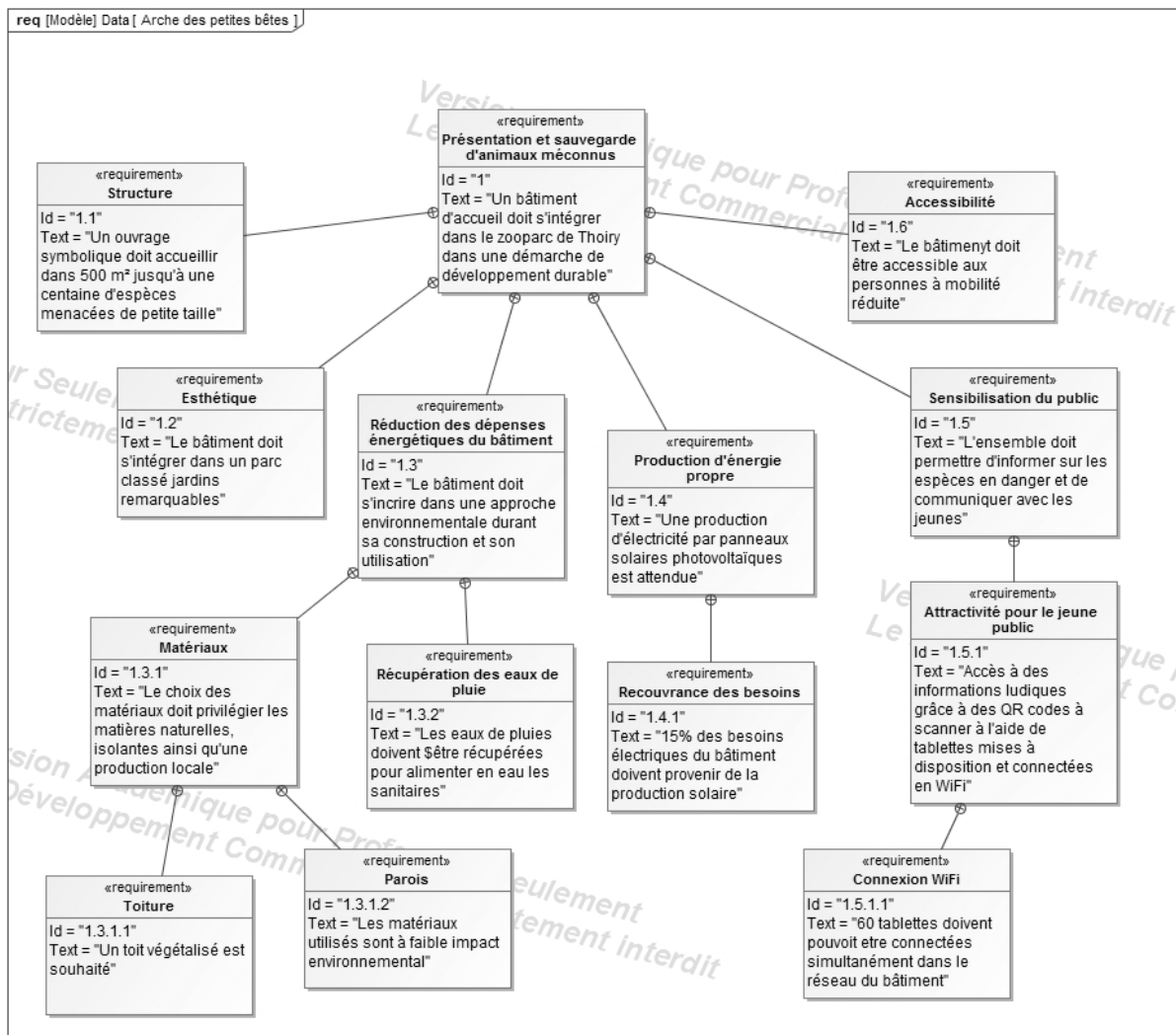
Le plan d'installation du réseau informatique déjà en place est présenté sur le Document Technique DT14.

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.

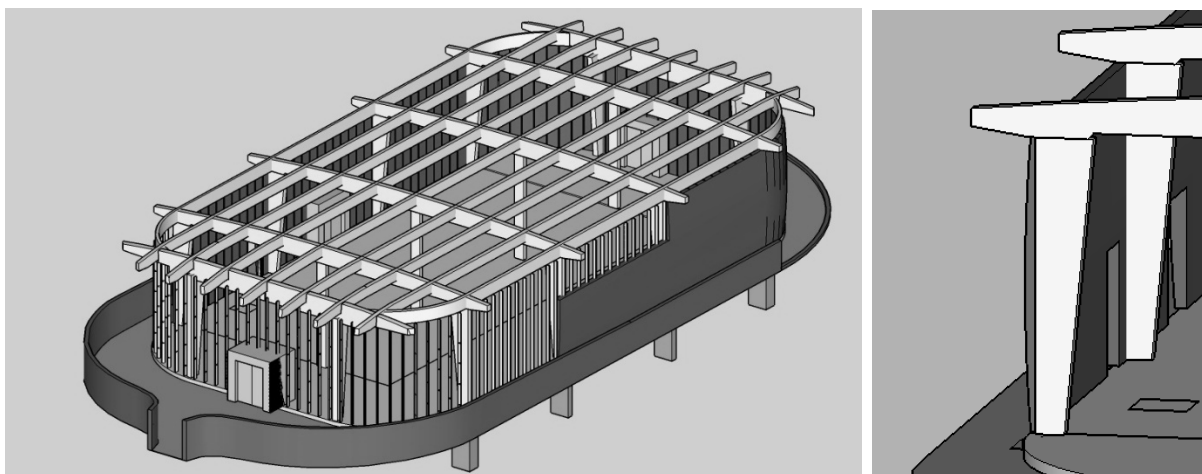
Conclusion générale

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

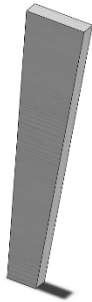


DT2 : modèle numérique de la structure porteuse de l'arche (toiture enlevée)



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

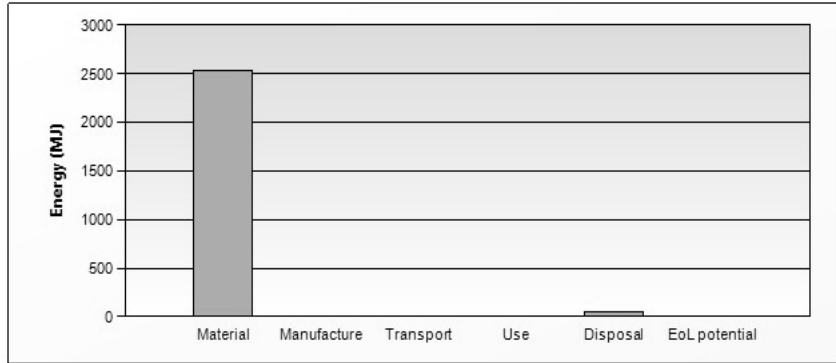
Material : Matériaux – Manufacture : Fabrication – Transport : Transport – Use : Utilisation
 Disposal : Fin de vie – EoL potential : Recyclage potentiel



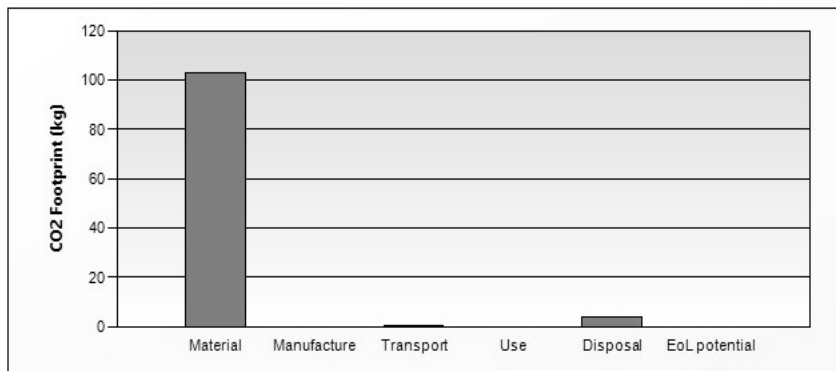
Version installée en bois lamellé-collé

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



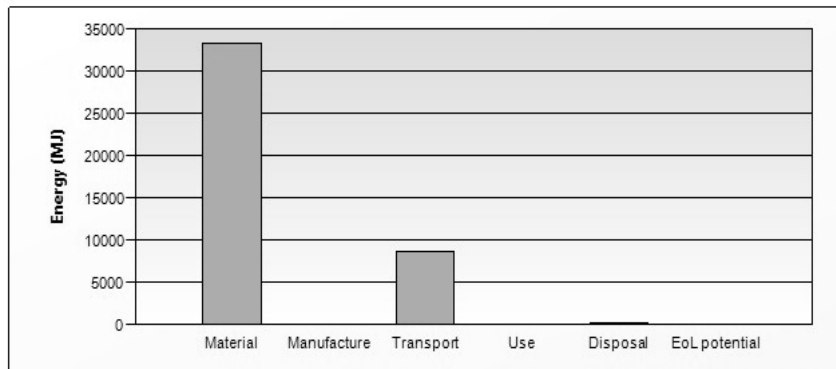
[Energy Details...](#)



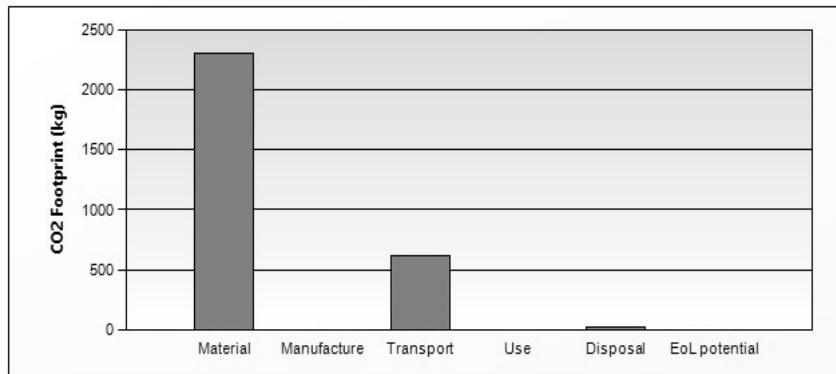
Version comparative en acier

Paramètres de simulation :

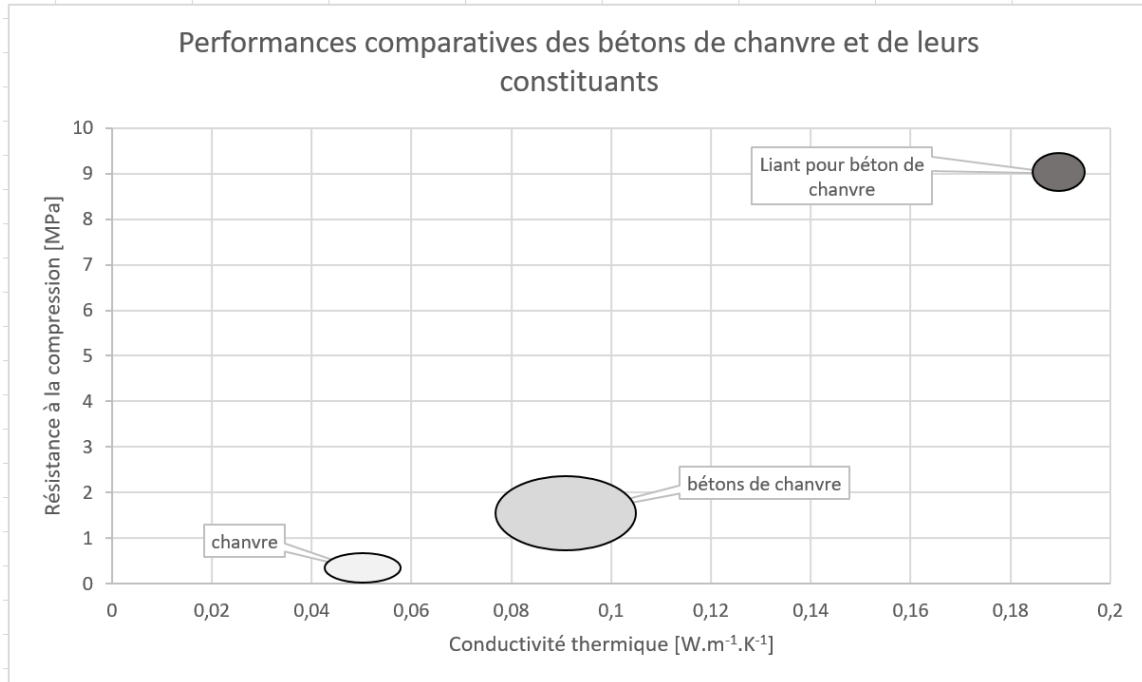
- Poteau en acier épaisseur 50 mm
- Masse de 1270 kg.
- Cycle de vie de 50 ans,
- Transport par camion 32 tonnes
- Distance parcourue du lieu de fabrication au chantier de construction : 1500 km



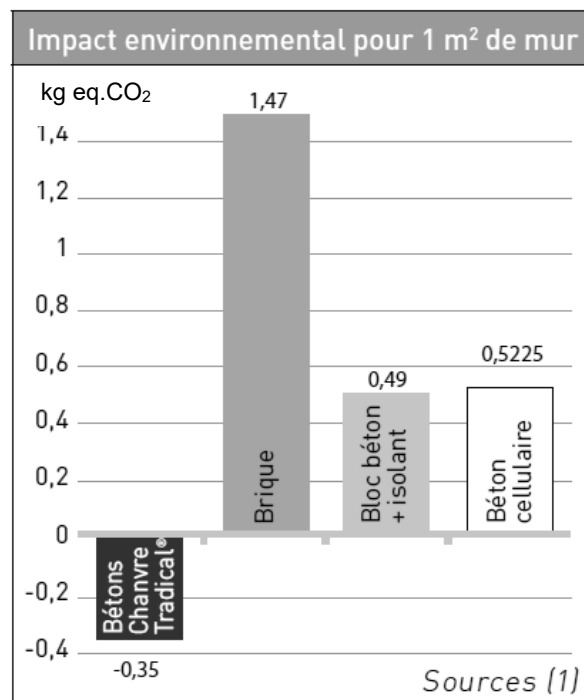
[Energy Details...](#)



DT4 : performances des bétons de chanvre suivant trois critères



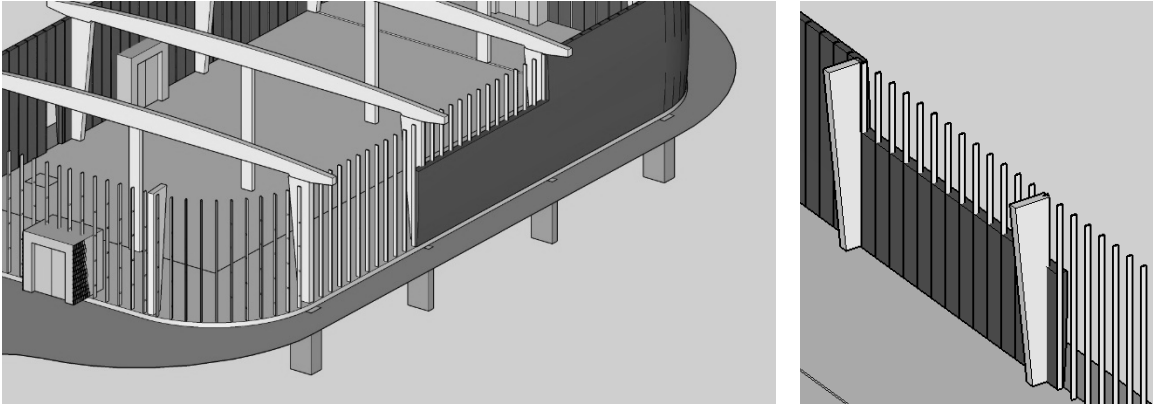
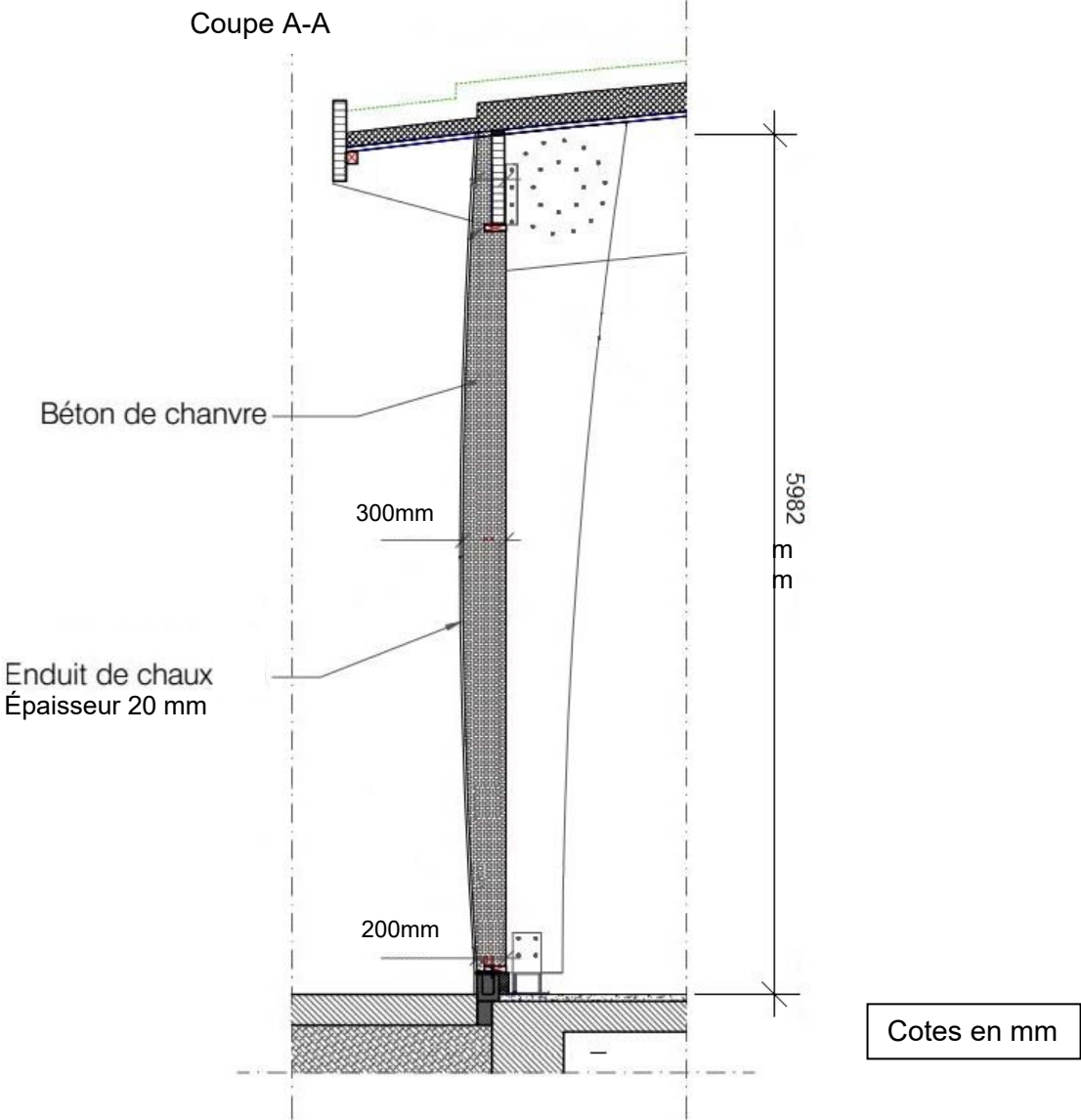
DT5 : émissions des gaz à effet de serre (en kg eq. CO₂) sur l'ensemble du cycle de vie de différents types de parois



(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 :

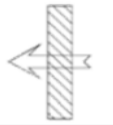

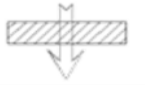
La résistance thermique (R_{th}) d'une couche de matériau de conductivité thermique (λ) et d'épaisseur (e) est :

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

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

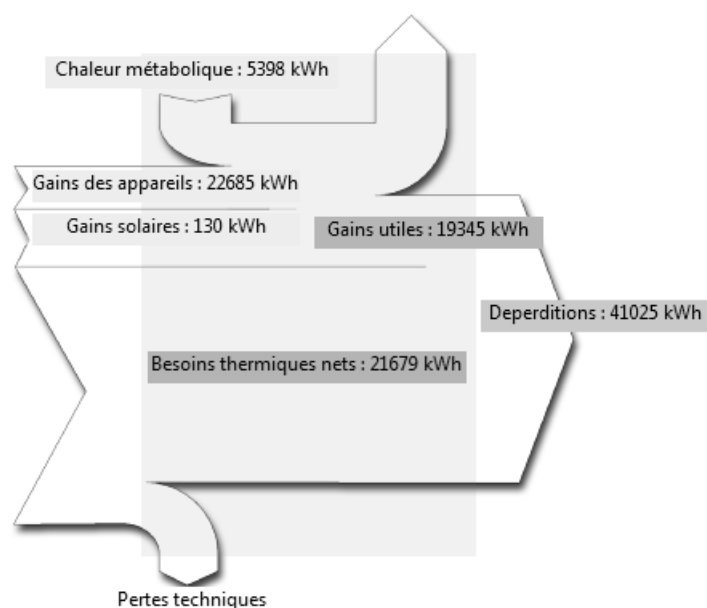
DT9 : données climatiques de Thoiry

	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

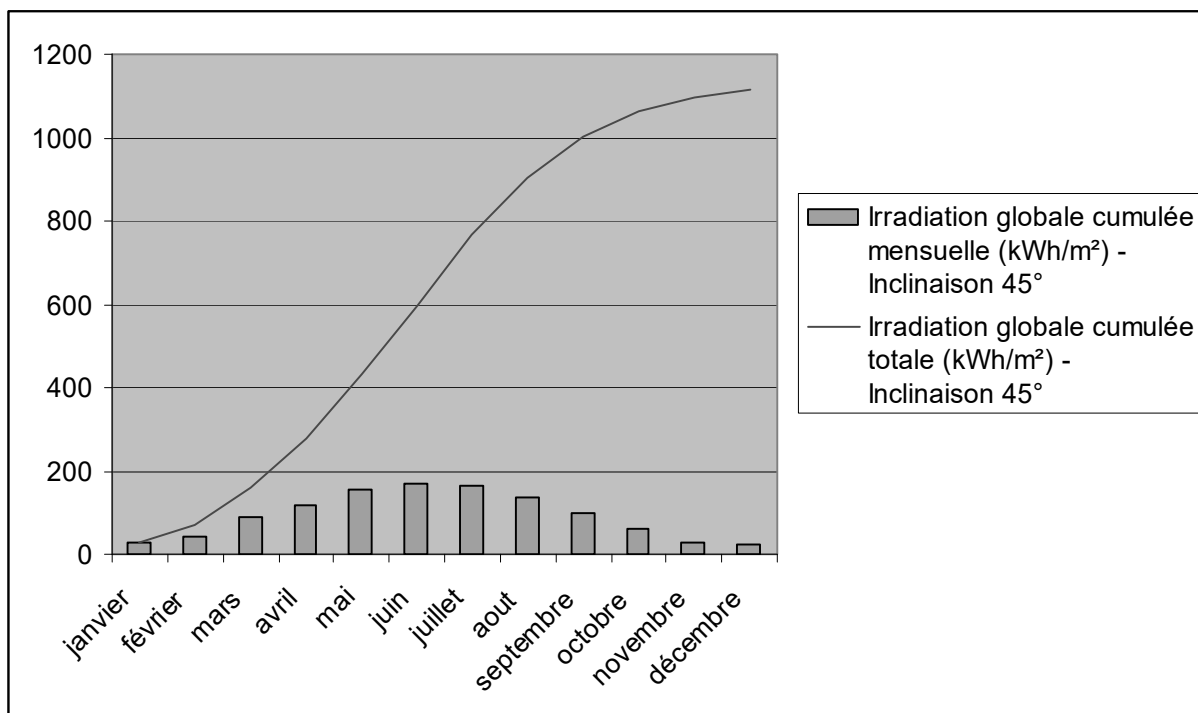


DT11 : irradiation solaire pour la commune de Thoiry pour différents plans inclinés

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

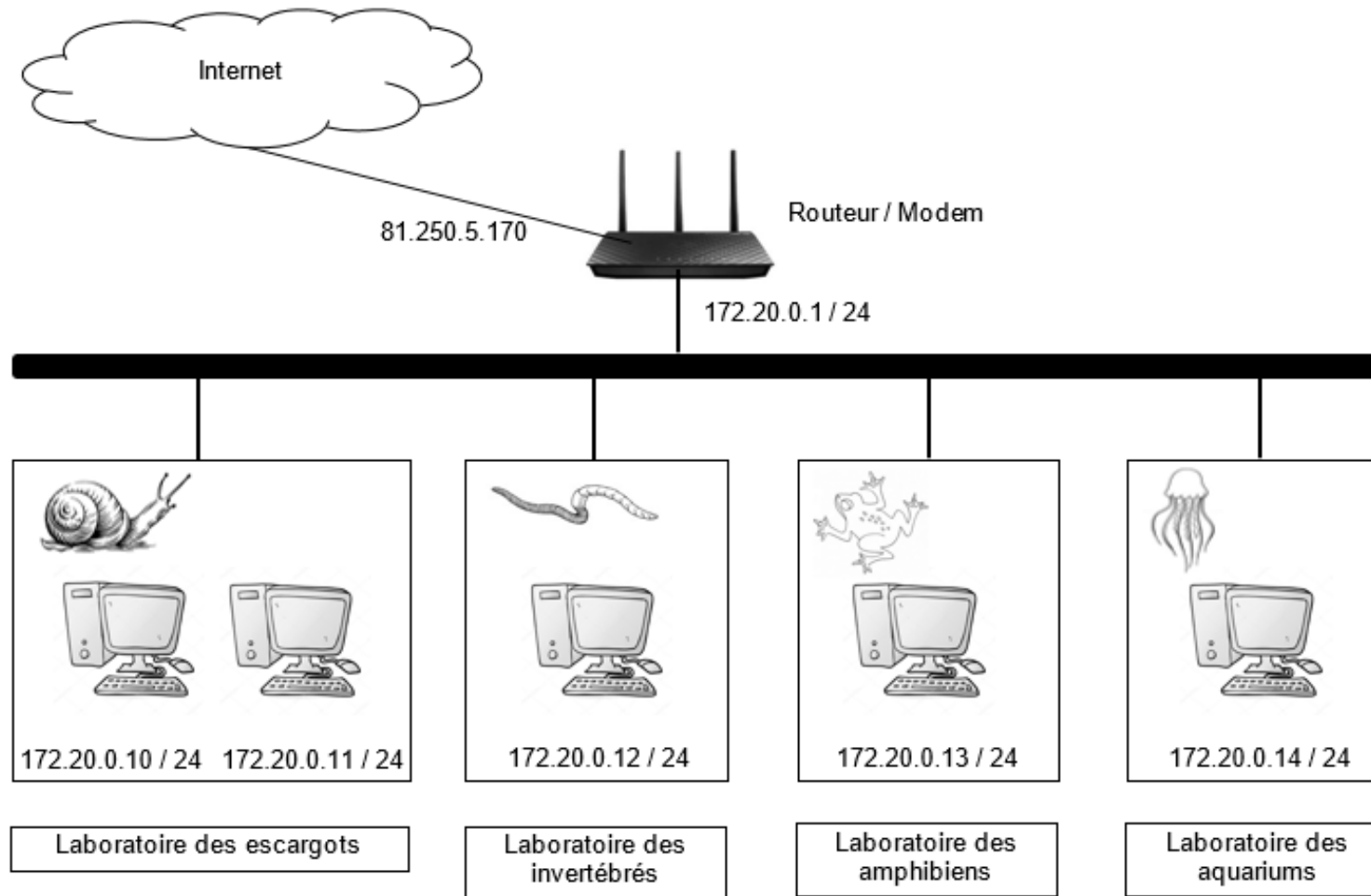
Garantie constructeur: 20 ans

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	

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Arche des petites bêtes

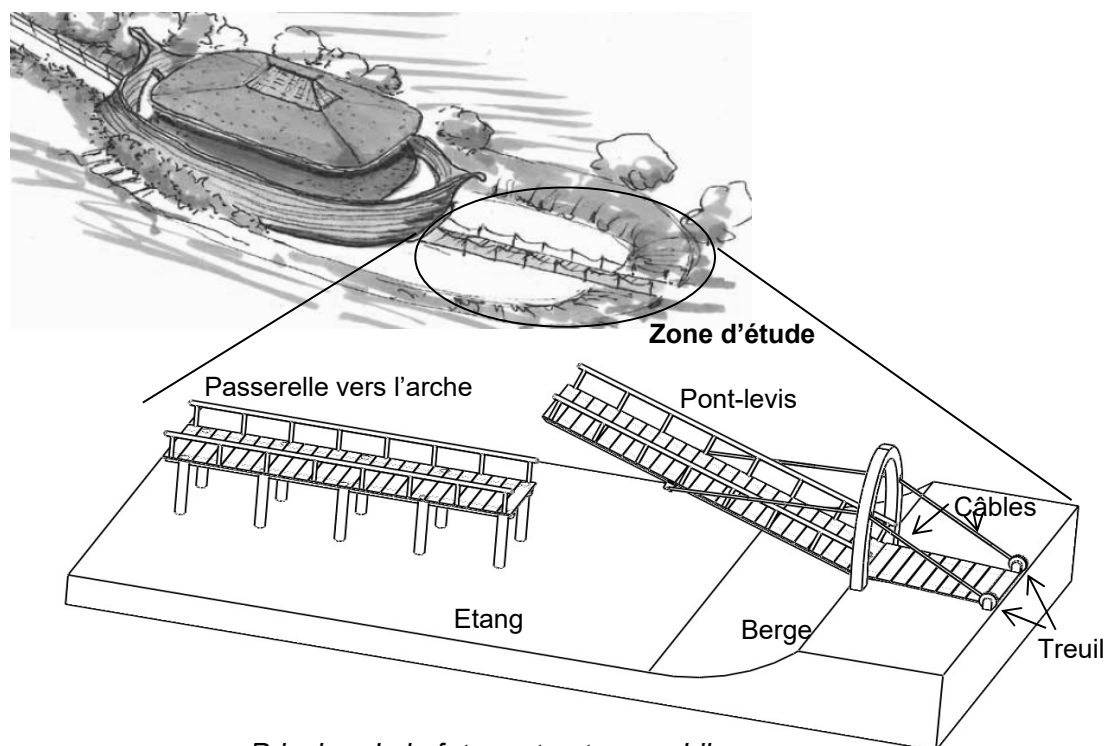


- **Présentation de l'étude et questionnement pages 24 à 29**
- **Documents Techniques pages 30 à 34**
- **Documents Réponses pages 35 à 36**

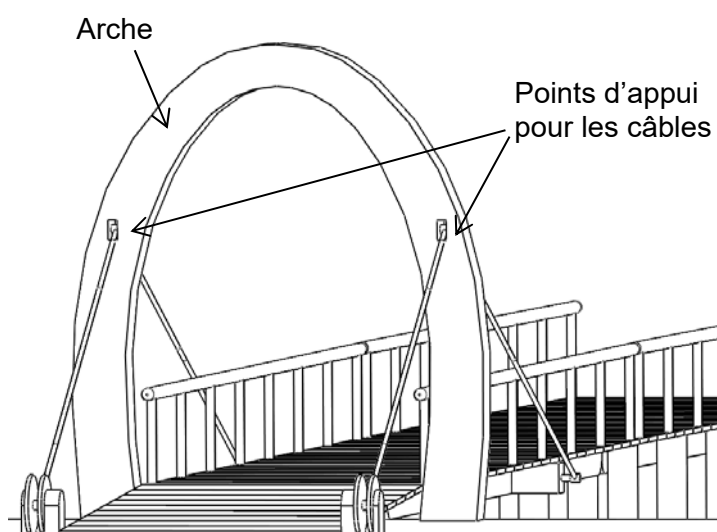
**Dans la partie spécifique, vous devez choisir de traiter la partie B
(choix 1) ou la partie D (choix 2).
Les autres parties A et C sont à traiter obligatoirement.**

Mise en situation

Afin d'assurer une meilleure sécurité de l'Arche des petites bêtes, une étude est menée afin de remplacer la passerelle d'entrée fixe par un **système (passerelle + pont-levis)** mobile bloquant le passage pendant les horaires de fermeture du parc de Thoiry. Le pont sera actionné par 2 câbles tirés par un treuil installé sur la berge, sous la structure d'accès. Sa commande sera programmée ou effectuée à distance. La passerelle de sortie emploiera une solution équivalente non étudiée ici.



Principe de la future structure mobile



Pont-levis en position ouverte

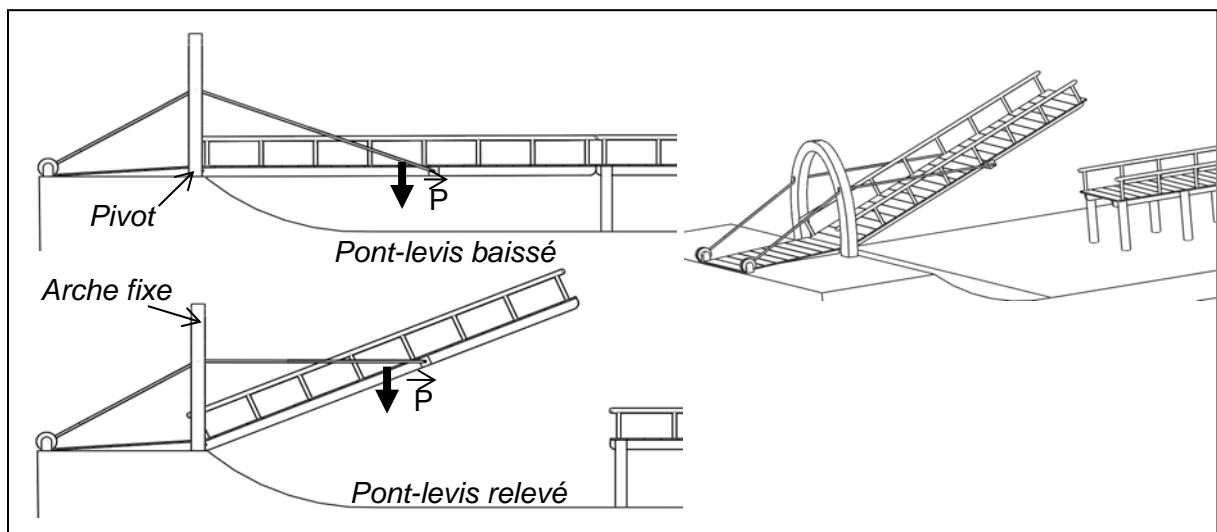
Une structure rigide doit assurer le guidage des câbles grâce à un point d'appui en hauteur. Symboliquement, il est décidé de lui donner la forme d'une arche, le visiteur devant la franchir afin d'accéder à l'Arche des petites bêtes.

L'ensemble de la structure sera en bois (pin) afin de s'intégrer non seulement à l'environnement et au bâtiment existant, mais aussi pour valoriser la démarche d'éco-conception.

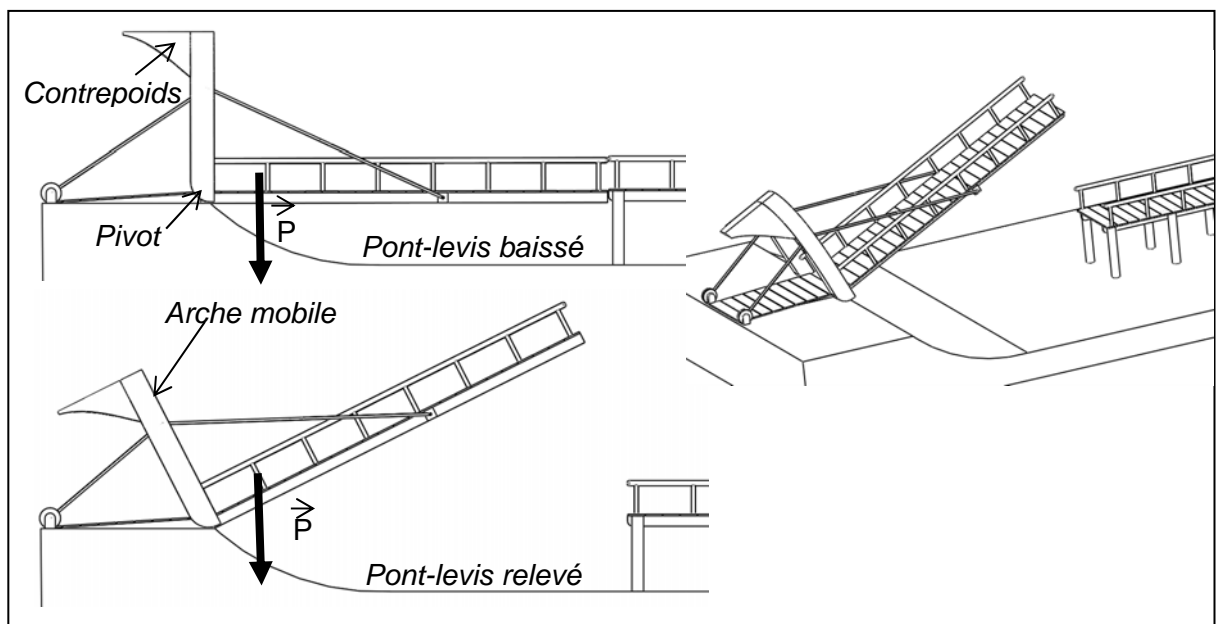
La structure ne doit pas dépasser les 5 mètres de hauteur pour ne pas être visible depuis l'extérieur du parc.

Une solution consommant un minimum d'énergie lors des mouvements de relèvement / descente du pont-levis est recherchée. Deux solutions techniques structurales sont comparées : une version A classique et une version B avec contrepois qui rapporte le centre de gravité du pont mobile plus près de son axe de rotation, mais qui est plus lourde.

Version A : Pont-levis et arche statique fixée au sol



Version B : Pont-levis avec arche mobile fixée au pont



Travail demandé

Partie A : Comment choisir la structure la plus adaptée d'un point de vue fonctionnel et éco-environnemental ?

Cette partie est traitée à partir de simulations numériques effectuées sur les deux versions de pont, avec les mêmes paramètres d'entrées (loi de vitesse sur les câbles tractant le pont mobile, matériaux employés). Les frottements ont été négligés dans l'étude.

Validation du mouvement.

Afin de comparer les mouvements des deux versions, une loi de vitesse de traction des câbles est définie. Elle est donnée dans le DT-S1.

Question A.1 DT-S1, DT-S2	Déterminer la valeur de l'accélération en $m \cdot s^{-2}$ sur chacune des plages de vitesse. Indiquer si cette loi de vitesse est cohérente avec l'exigence de durée de fermeture de l'accès à l'Arche des animaux.
---------------------------------	--

Les DT-S3 et DT-S4 représentent les résultats de simulation pour chacune des deux solutions.

Question A.2 DT-S2, DT-S3 et DT-S4.	Identifier l'angle d'inclinaison maximal obtenu par chaque solution. Indiquer pour chaque solution si l'exigence angulaire du pont en position haute est respectée.
--	--

Le treuil est composé d'un motoréducteur et d'un tambour unique sur lequel s'enroule les 2 câbles (voir DT-S6). Il permet d'enrouler les deux câbles à une vitesse constante.

Validation de la puissance du moteur

Question A.3 DT-S3 et DT-S4	À partir des documents DT-S3 et DT-S4, identifier l'effort de traction maximale des câbles nécessaire pour chaque solution.
-----------------------------------	--

Question A.4 DT-S1, DT-S3 et DT-S4	Identifier dans le DT-S1 la vitesse maximale de déplacement des câbles. Dans la plage de vitesse constante, calculer , pour chaque solution, la puissance nécessaire pour tracter les câbles. Identifier , pour chaque solution, si l'exigence de puissance maximale est respectée.
---	--

Choix d'une solution structurelle consommant le moins d'énergie sur un déplacement

Question A.5 | Les documents DT-S3 et DT-S4 donnent la puissance moyenne développée. **Calculer**, pour chaque solution, l'énergie consommée pour un cycle de levage (d'une durée de 21 secondes).
DT-S3 et
DT-S4 | **Indiquer** la solution consommant le moins d'énergie.

Choix de la solution structurelle ayant un bilan énergétique global le plus favorable.

Question A.6 | Une analyse du cycle de vie des deux solutions est présentée sur le DT-S5, sur un critère d'énergie dépensée. **Indiquer** quel facteur propre à chaque solution impacte le plus ce bilan énergétique.
DT-S5 | **Conclure** en choisissant la solution qui s'inscrit le mieux dans une démarche d'éco-conception.

Choix 1

Partie B : Comment dimensionner le treuil ?

La solution structurelle A est retenue pour cette étude.

Afin d'assurer le relevage du pont levis en 21 secondes, les câbles doivent être entraînés à la vitesse linéaire de $50 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

L'effort de traction maximale est de 24000 N.

Le tambour d'un treuil (voir DT-S6) est le cylindre sur lequel s'enroule le câble. Dans la gamme de treuil choisie son diamètre est de 100 mm.

Question B.1 | **Calculer** la fréquence de rotation en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ que doit avoir le tambour lors du relevage du pont.

Question B.2 | **Calculer** la puissance maximale développée par le câble.
Le rendement du tambour du treuil est évalué à 0,9. **Calculer** la puissance développée par le motoréducteur.

Question B.3 | Le document DT-S7 donne quelques caractéristiques de motoréducteurs présélectionnés pour le treuil.
DT-S2 | **Choisir** un motoréducteur qui doit également satisfaire l'exigence de puissance maximale.
DT-S7

Question B.4 DR-S3	Le document DR-S3 représente partiellement le pont en position baissée à l'échelle 2 :100. Déterminer la position du point A d'attache du câble lorsque le pont est en position levée. Déduire la longueur de câble à enrouler pour relever le pont. Calculer le nombre de tours que doit faire le treuil pour relever le pont.
-----------------------	--

Partie C : Quels sont les efforts supportés par la liaison pivot du pont-levis ?

Une étude par simulation a été menée, les paramètres et les résultats sont présentés sur le DR-S1.

Question C.1 DR-S1	Représenter sur le DR-S1 les composantes de la résultante de l'action mécanique du sol sur le pont. Échelle 1cm pour 2000 N. Calculer l'intensité de la résultante de cette action mécanique.
-----------------------	--

Question C.2 DR-S1	Préciser la direction de résultante de l'action mécanique du câble sur le pont. Justifier votre réponse.
-----------------------	--

Le projet de réalisation de la liaison pivot avec le support (sol) en O est présenté sur le DT-S8.

Question C.3 DT-S8	Calculer l'intensité de la résultante de l'effort qui s'appliquera sur chaque axe participant à la liaison pivot.
-----------------------	--

Choix 2

Partie D : Comment dimensionner la liaison pivot du pont-levis ?

Pour s'inscrire dans la démarche d'écoconception une étude préliminaire envisage la réalisation des axes de la liaison pivot en bois. On souhaite valider ce choix.

Pré-dimensionnement : un logiciel de calcul a permis de tracer le graphe (DR-S2) donnant le diamètre minimal de chaque axe de la liaison pivot en fonction de l'effort à supporter pour différents matériaux.

Question D.1 | **Déterminer** le diamètre minimal d'un axe en pin pour un effort dans la liaison 23100 N. **Faire apparaître** votre tracé sur le graphe.
DT-S9
DR-S2

Une vérification de résistance du matériau à la pression de contact doit être faite.

La pression de contact se calcul de la manière suivante :

- $P = F / S$
- P est la pression de contact en $N \cdot mm^{-2}$
- F est l'effort dans chaque axe de la liaison, $F = 11550 \text{ N}$
- S est le surface projetée, $S = D \times L$
- D = Diamètre de l'axe
- L = longueur du guidage est de 80 mm.
- La pression maximale admissible par le matériau est $P_{\max} = 25 \text{ N} \cdot mm^{-2}$.

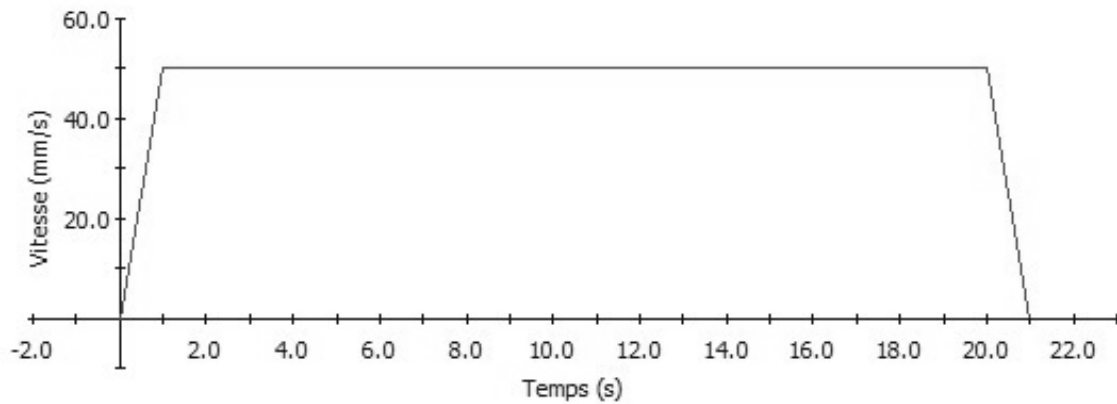
Question D.2 | **Valider ou non** le choix du diamètre de l'axe au regard de la pression de contact.

Le risque d'usure dans une telle liaison réalisée bois sur bois est important.

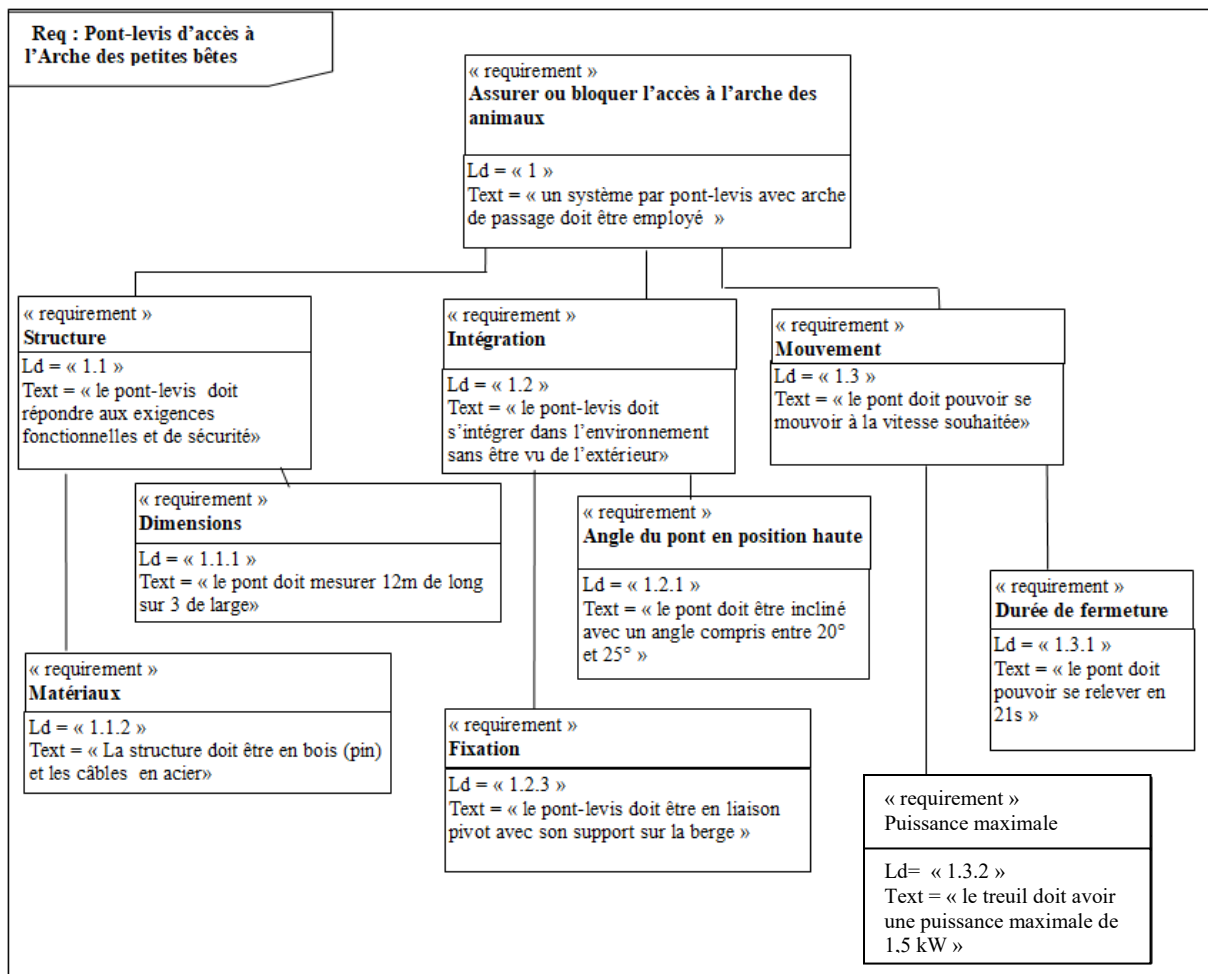
Question D.3 | **Indiquer** sur quelles paramètres dimensionnels il est possible d'agir pour limiter l'usure dans cette liaison.

Question D.4 | Le bureau d'études renonce finalement à ce principe de solution bois sur bois. **Proposer** sous forme d'un schéma commenté une solution technique alternative.

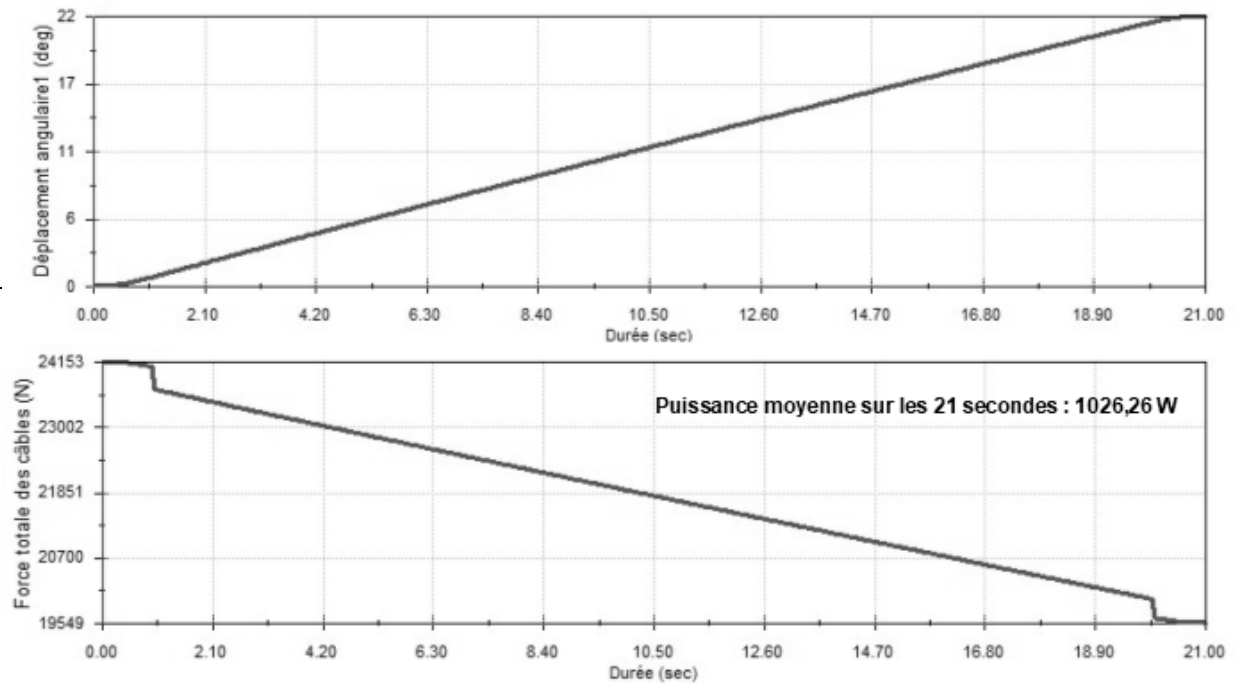
DT-S1 : Loi de vitesse de traction des câbles programmée sur le logiciel de simulation



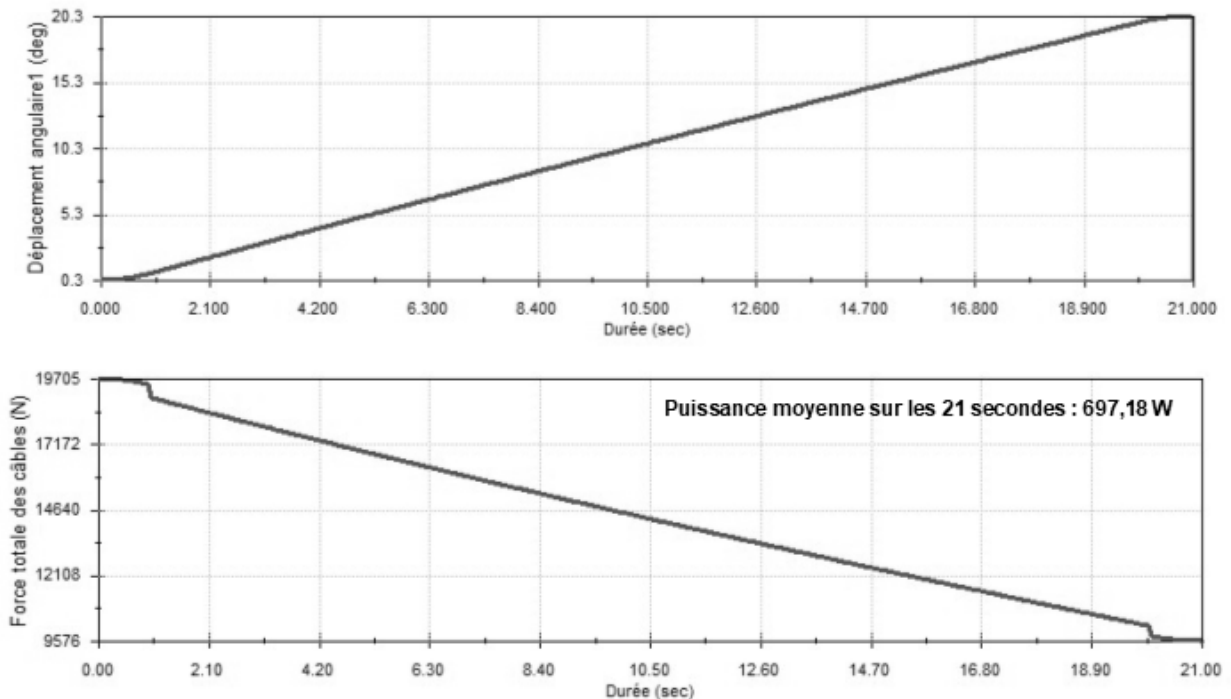
DT-S2 : Diagramme des exigences



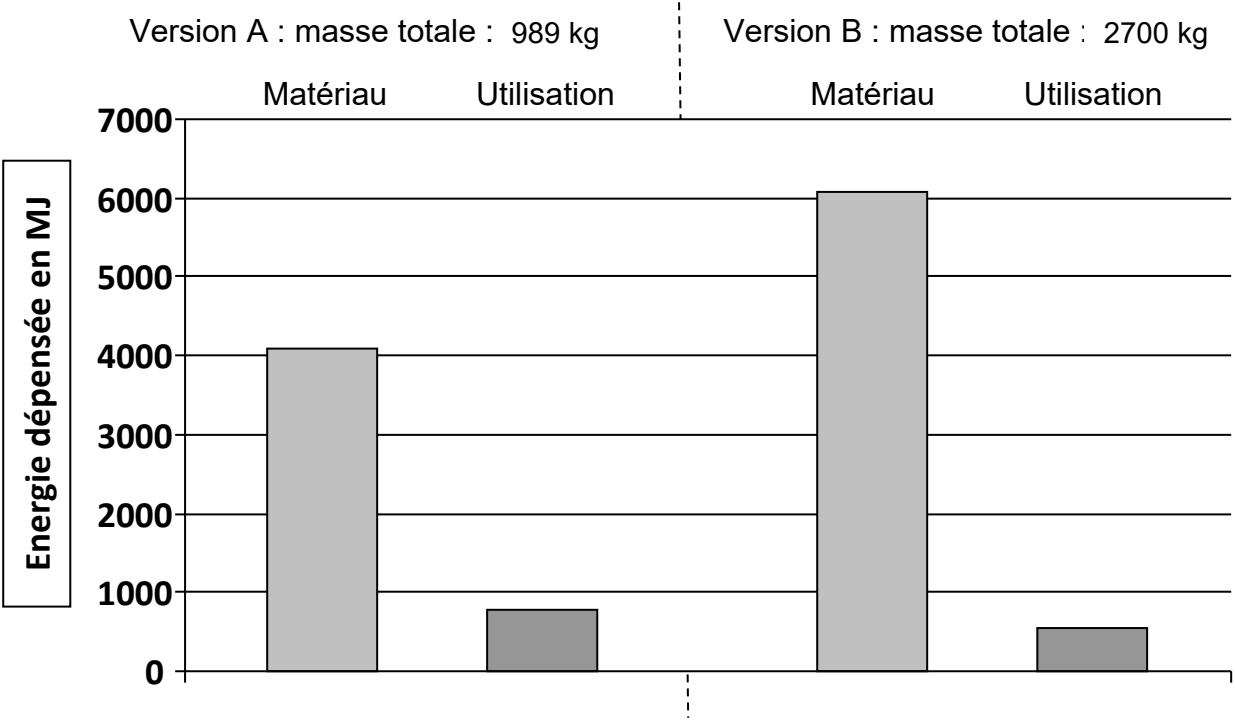
DT-S3 : Analyse du déplacement angulaire du pont et de l'effort total dans les câbles avec la solution A



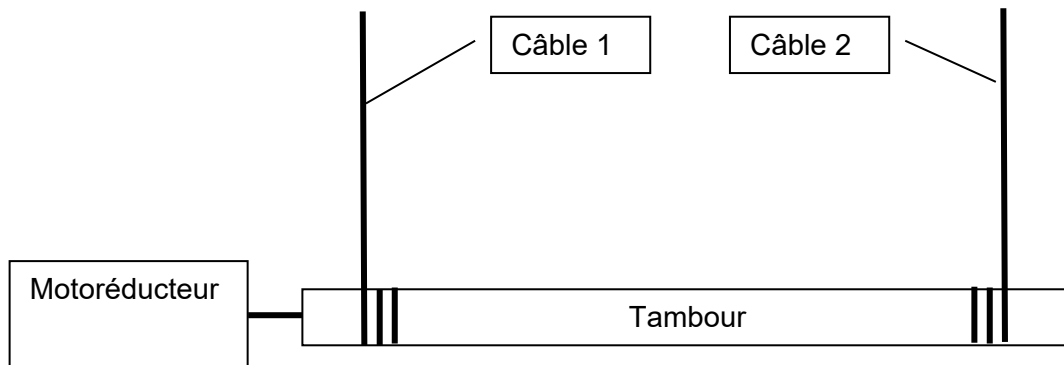
DT-S4 : Analyse du déplacement angulaire du pont et de l'effort total dans les câbles avec la solution B



DT-S5 : Résultats comparatifs de simulations numériques environnementales sur le pont-levis sur 50 ans



DT-S6 : architecture du treuil

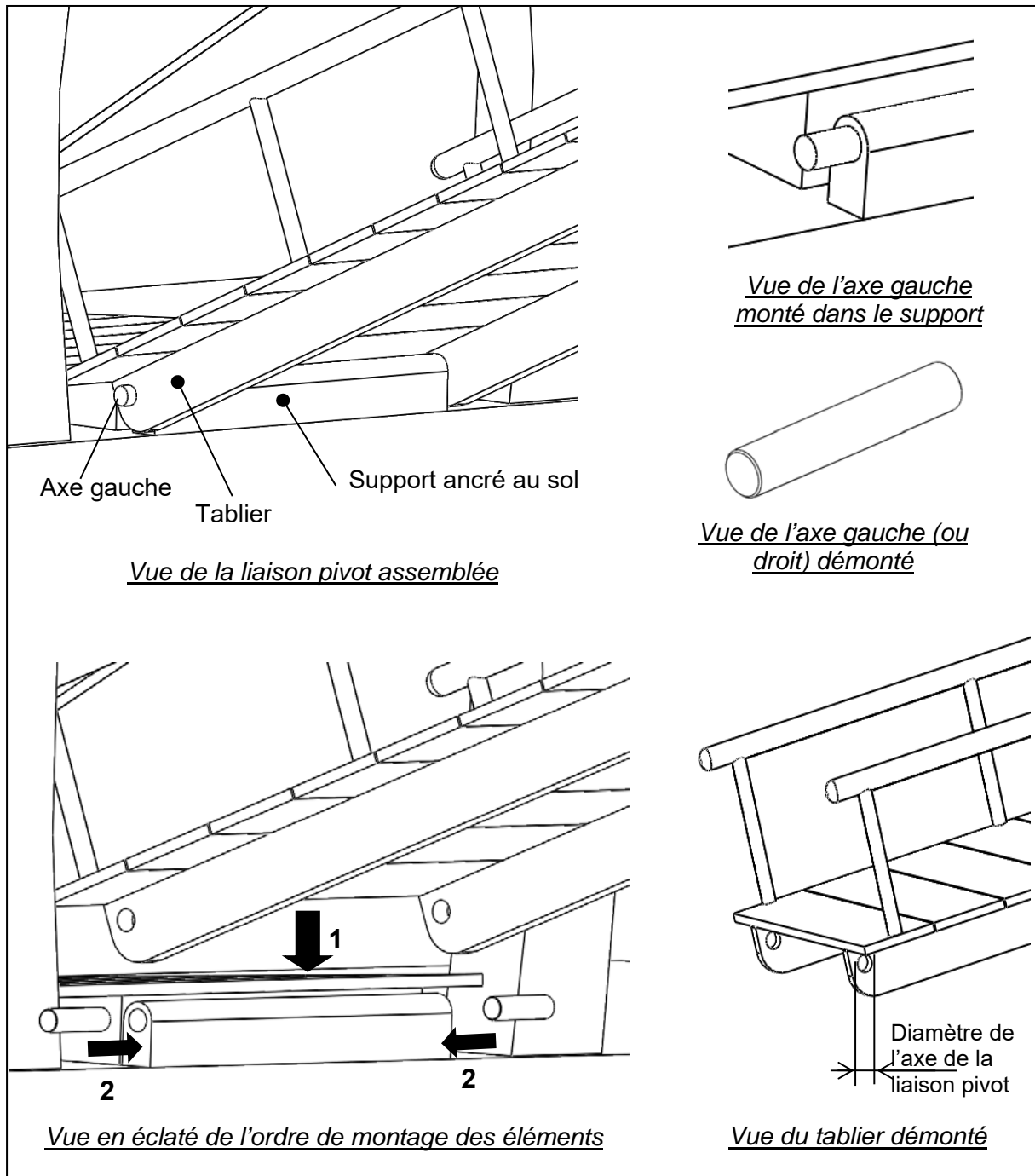


DT-S7 : Tableau comparatif de motoréducteurs

Motoréducteur	Puissance en kW	Fréquence de rotation en tr/min	Prix HT en euros
ITH123 - 11	1,1	9,7	1100
ITH143 - 11	1,1	5,5	2049
ITH133 - 15	1,5	10	1667
ITH143 - 15	1,5	5,5	2049
ITH143 - 22	2,2	9,5	1789
ITH133 - 22	2,2	5,5	2119

DT-S8 : Solution constructive souhaitée par l'architecte pour réaliser la liaison pivot entre le pont-levis et son support sur la berge

Le matériau envisagé dans le projet initial reste, pour une homogénéité, le pin. Compte tenu du mouvement attendu (faible angle, faible vitesse), la liaison pivot entre le pont et son support pourra être réalisée par une articulation. 2 axes (gauche et droit) se monteront en force dans des logements du support fixé au sol. Un léger jeu est prévu entre les alésages du tablier et les 2 axes afin d'assurer la mobilité.

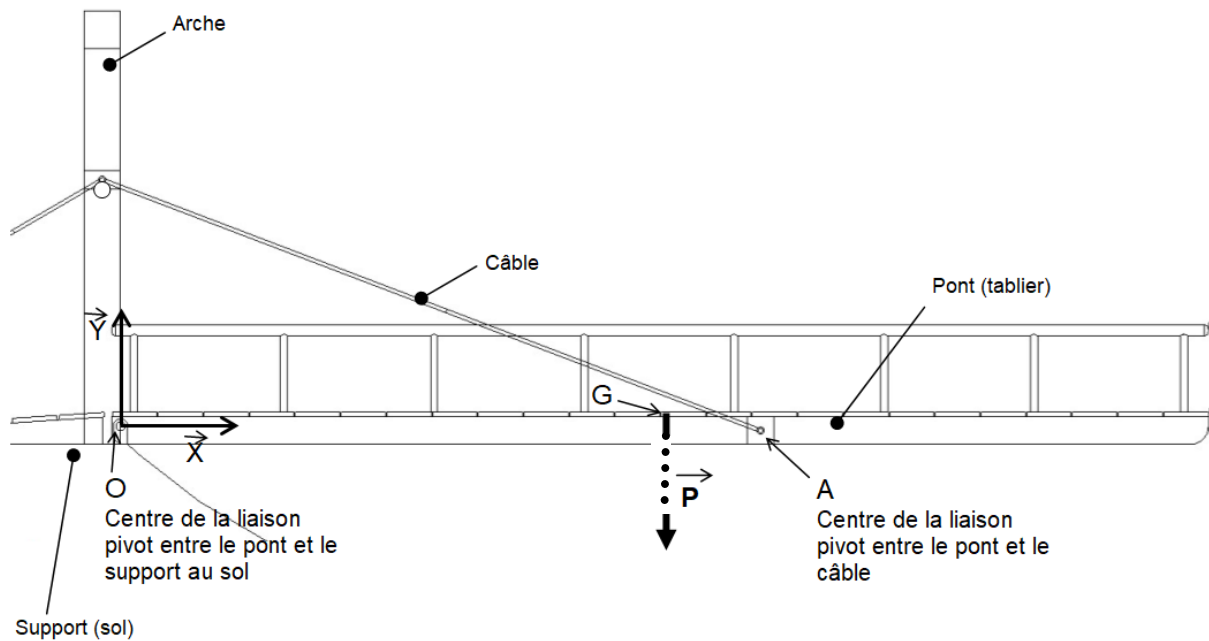


DR-S1 : détermination des actions de contact par résolution du PFS appliqué au tablier du pont-levis à l'aide un logiciel de calcul

Étude statique sur le pont (tablier) du pont-levis version A dans le cas le plus critique de la partie 1, soit en position horizontale. Elle se simplifiera par les hypothèses suivantes : le problème est plan (dans le plan (O, X, Y)) et les actions des 2 câbles de traction sont modélisées par une unique action somme des deux. Aucun piéton ne doit être présent sur le tablier durant les manœuvres (pas d'action mécanique due à leur poids).

Bilan des actions mécaniques sur le tablier du pont isolé :

- Poids \vec{P} (9700 N) en G
- Action du câbles sur le pont dans la liaison pivot en A
- Action du sol sur le pont dans la liaison pivot en O

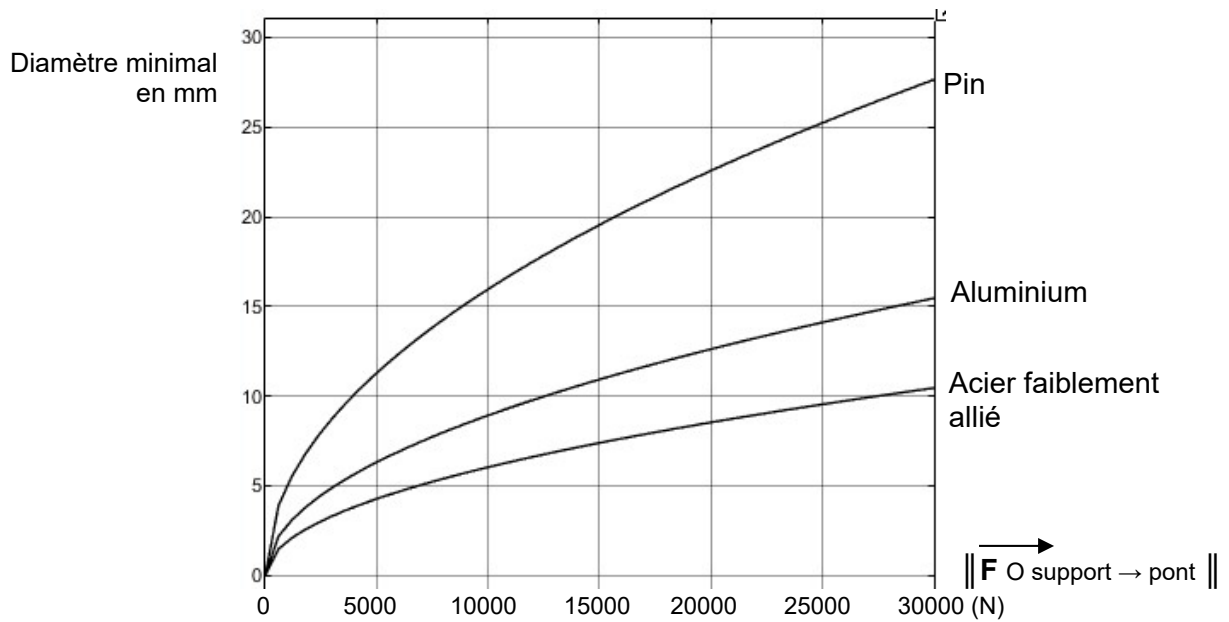


Résultats :

Action	Poids en G		Action des câbles en A		Action du support en O	
	Résultante	Moment	Résultante	Moment	Résultante	Moment
X	0	0	- 23 023	0	23 023	0
Y	- 9 703	0	8380	0	1 323	0
Z	0	0	0	0	0	0

Les composantes de résultantes sont en N, celles de moment en N·m.

DR-S2 Détermination du diamètre minimal des axes de la liaison pivot du pont en fonction de l'effort dans la liaison selon le critère de cisaillement



Abaque de dimensionnement pour un coefficient de sécurité de 2

Diamètre minimal de l'axe de la liaison pivot =

DR-S3 Détermination de la longueur de câble à enrouler

