

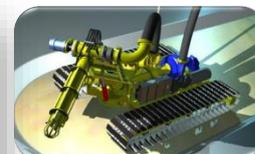
CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

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

Session 2019

Durée 5 heures

Aucun document autorisé - Calculatrice autorisée



Constitution du sujet :

- **Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
 - **PARTIE 1** Page 3
 - **PARTIE 2** Pages 3 à 8
 - **PARTIE 3** Pages 8 à 11
 - **PARTIE 4** Pages 12 et 13
- **Dossier Technique (DT1 à DT21)**..... Pages 14 à 29
- **Documents Réponse (DR1 à DR13)** Pages 30 à 34

Le sujet comporte quatre parties indépendantes (Partie 1 à 4) qui peuvent être traitées dans un ordre différent.

Les documents réponses DR1 à DR13 seront à rendre (mêmes vierges) avec les copies.

Concours général des lycées	2019
Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable	Page 1 / 34

Mise en situation

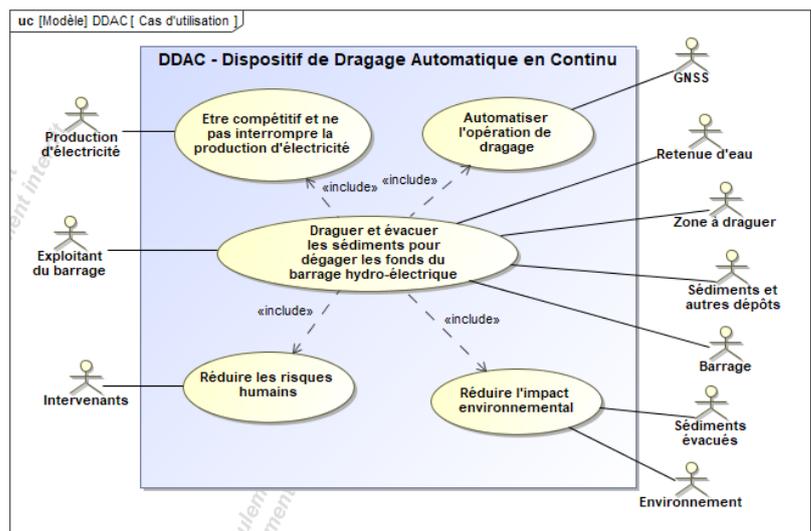
Le centre hydraulique d'Électricité de France (EDF) fait face à des problématiques sédimentaires dans la gestion de son parc hydroélectrique. Ces sédiments font diminuer les hauteurs d'eau et donc la productivité du barrage. EDF souhaite évaluer la faisabilité de solutions innovantes de dragage de sédiments, afin d'assister le transit sédimentaire au travers de ses ouvrages tout en permettant l'optimisation de sa production, en limitant l'impact environnemental.

Contrairement aux méthodes actuelles, ponctuelles (20 à 30 opérations par an sur le parc EDF de 10 000 à 100 000 m³ chacune) et employant des technologies souvent contraignantes, ce nouveau dispositif devra permettre une gestion en continue et transparente du flux sédimentaire. L'objectif est de développer, dans le cadre d'un partenariat à l'innovation entre le maître d'ouvrage et les maîtres d'œuvre, des outils, des systèmes et des méthodes novateurs, adaptés, pérennes et durables pour l'ensemble des retenues du parc EDF.

Expression du besoin

La solution doit répondre aux attentes des exploitants de barrages sujets à l'envasement :

- aucun arrêt de production ;
- service intégré de gestion sédimentaire fiable, rentable, sans risques et respectueux de l'environnement ;
- transit sédimentaire plus souple ;
- réduction des impacts environnementaux : chaîne continue et hermétique d'évacuation des sédiments, traitement et revalorisation. Respect de la faune et de la morphologie sédimentaire du parc d'exploitation. Limitation des vidanges de retenues, pollution du plan d'eau par des matières en suspension ;



- qualité, précision et quantification des interventions ;

- réduction des risques humains : suppression des interventions subaquatiques par plongeurs.

Objectif

À ce jour, il existe peu de solutions complètes sur le marché répondant à ces attentes, d'où la mise en place par EDF d'un partenariat d'innovation. L'objectif est de développer un dispositif de dragage automatique en continu (DDAC).

Concours général des lycées	2019
Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable	Page 2 / 34

Travail demandé

PARTIE 1 – Analyse des solutions existantes

L'objectif de cette partie est de comparer trois solutions envisagées par EDF et définir laquelle sera la plus compétitive vis-à-vis du marché.

Une première solution « archaïque » consiste à vider la retenue d'eau et venir retirer les sédiments à l'aide de véhicules de terrassement.

Les deux autres solutions innovantes ont pour but de développer un système automatisé utilisant une benne ou un robot chenillé. Ces solutions sont décrites dans le DT1.

Question 1.1
DT1
DR1

Pour chaque solution, **compléter** les critères du tableau du document réponse DR1.

Question 1.2
DT2

Au regard des exigences du cahier des charges données dans le document technique DT2, **relever** une exigence validant le fait que la solution 1 ne peut pas être retenue.

PARTIE 2 – Étude énergétique des trois solutions

SOLUTION 1 – Vidange de la retenue d'eau

Vider un barrage pour extraire les sédiments accumulés implique un arrêt de la production électrique pendant au moins 100 jours.

L'étude proposée porte sur l'impact sur la production d'énergie électrique.

Turbines	
- Nombres	2
- Type	Francis
- Puissance maximale utilisable	58 MW
- Puissance nominale	52,6 MW
- Débit nominal	22,5 m ³ ·s ⁻¹
- Hauteur de chute nette nominale	258,8 m

Tableau 1 : Caractéristiques du groupe de production de l'installation hydroélectrique

Question 2.1

Calculer l'énergie électrique en GWh qui pourrait être produite sur une période de 100 jours.

Question 2.2

Sachant que l'électricité est revendue à 0,12 € le kWh, **calculer** le manque à gagner dû à l'arrêt de production.

SOLUTION 2 – La benne automatisée

Le système proposé, constitué d'une barge contrôlée par treuils, est muni d'un dispositif de levage d'une benne preneuse. La benne descend en fond de retenue et remonte les sédiments en surface. Elle se vide sur un crible placé au-dessous d'une cuve relais. Les bois, blocs rocheux et sédiments grossiers ne traversant pas le crible sont remis à l'eau ou triés pour évacuation et revalorisation. Les sédiments traversant le crible sont fluidifiés, puis aspirés par une pompe à sédiments et évacués vers un autre point de rejet.



Masse à lever (benne + sédiments + câble)	27,4 t
Effort de levage dans l'eau (poids + frottements – poussée d'Archimède)	172 kN
Effort de levage à l'air libre	268 kN
Vitesse de remontée dans l'eau	25 m·min ⁻¹
Vitesse de remontée à l'air libre	20 m·min ⁻¹
Rendement mécanique	80 %
Puissance du moteur	112 kW

Tableau 2 : Efforts sur le treuil

- Question 2.3** | **Calculer** l'effort nécessaire pour lever la masse de sédiments.
- Question 2.4** | **Expliquer** la différence d'effort entre la benne à lever dans l'air et dans l'eau.
- Question 2.5** | **Calculer** la puissance utile pour remonter la benne avec les sédiments dans l'air puis dans l'eau.
- Question 2.6** | **Calculer** la puissance du moteur pour soulever cette charge dans l'air.
- Question 2.7** | **Calculer** la masse volumique de sédiments effectivement extraits par une benne de 8 m³.
DT3

La benne envisagée pour cette application est une benne de 10 m³ mécanique à deux câbles. Sa masse à vide est de 9,305 t et de 27,4 t en charge.

- Question 2.8** | **Faire** le bilan de la consommation du système de levage en complétant le tableau du document réponse DR2.
DR2

Bilan de puissance de la solution 2

Les treuils de levage et d'ouverture/fermeture de la benne sont actionnés par une centrale hydraulique embarquée sur le ponton.

Le rendement de la centrale hydraulique est de 85 %.

Question 2.9 | **Calculer** la puissance hydraulique nécessaire.
DT4

Sachant que les treuils fonctionnent à pleine puissance chacun leur tour et non simultanément, une puissance de 200 kW est suffisante.

Question 2.10 | Sur le document réponse DR3, **calculer** la puissance électrique totale nécessaire.
DR3

Sachant que les composants ne fonctionnent pas à pleine puissance simultanément, la puissance totale disponible doit être d'environ 400 kW, alimentée par un groupe électrogène de 500 kVA, ou raccordée au réseau par un transformateur.

Question 2.11 | À l'aide du document technique DT5, **calculer** le facteur de puissance de l'installation.
DT5

Récupération de l'énergie lors de la descente

Une génératrice permet de récupérer l'énergie de la benne lors de la descente (benne pleine et benne vide). Cette énergie à récupérer correspond à une puissance moyenne de 30 kW. Le rendement de la génératrice est de 90 %.

Question 2.12 | **Calculer** l'énergie électrique (en kJ puis en kW·h) produite lors d'un voir DR2 cycle complet.

Question 2.13 | **Calculer** le nombre de rotations par jour à réaliser pour pouvoir extraire les 1000 m³ de sédiments exigés par le cahier des charges.
DT3

Question 2.14 | **Calculer** l'énergie électrique produite chaque jour (en kW·h).

L'énergie récupérée est stockée dans des batteries.

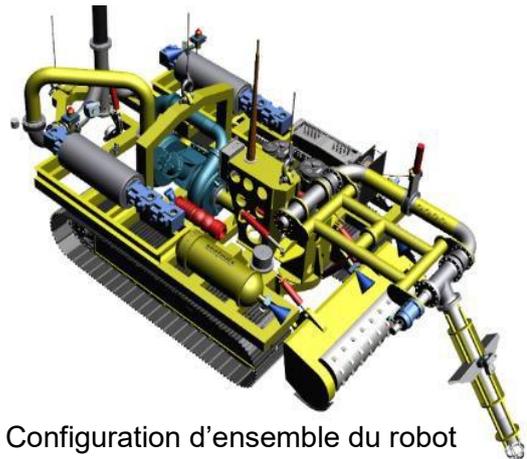
Question 2.15 | **Indiquer** la nature des énergies sur chaque liaison et préciser le DR4 type de courant sur le document réponse DR4.

Question 2.16 | **Calculer** le nombre de batteries AGM à décharge profonde 12 V DT6 150 Ah EV512A-150 DISCOVER nécessaires pour stocker cette énergie.

Question 2.17 | **Proposer** un schéma de raccordement des batteries pour alimenter un appareil en 24 V.

SOLUTION 3 – Le robot chenillé

Le robot se déplace en fond de retenue à l'aide de chenilles. Il drague les sédiments jusqu'à la surface avec une tête d'aspiration située à l'avant du véhicule. La machine est capable de broyer les obstacles en bois rencontrés et d'aspirer les copeaux jusqu'à la surface. Une configuration générale du dispositif est illustrée ci-contre.



Débit cible de sédiments extraits

Configuration d'ensemble du robot

La production journalière optimale pour rendre le robot compétitif par rapport aux méthodes traditionnelles de dragage est de 1000 m^3 de sédiments humides par jour. La teneur en eau de ces sédiments humides (porosité) est estimée à 43 %. Ceci se traduit par une concentration volumique de 57 % de sédiments solides et homogènes constitués de :

- 79 % de silts (quartz) de masse volumique $2650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- 16 % d'argile de masse volumique de $1700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- 5 % de sable de masse volumique de $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

On donne la masse volumique de l'eau : $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Question 2.18 | **Calculer** la masse volumique de l'ensemble des sédiments humides. On prendra en considération la partie solide et la partie liquide (eau).

Le système est dimensionné pour un objectif de 1000 m^3 de sédiments extraits par jour en considérant une journée de travail de 12 heures maximum avec 75 % du temps de production effectif.

Question 2.19 | **Donner** le temps d'extraction effectif.

Question 2.20 | **Calculer** en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, le débit d'extraction nécessaire de sédiments humides pour garantir l'objectif.

Le robot aspire un mélange d'eau et de sédiments humides. La concentration volumique de sédiments humides est de 17 %.

Question 2.21 | **Calculer** le débit du mélange eau-sédiments aspiré par le robot, pour garantir l'objectif.

Question 2.22 | **En déduire** la vitesse d'écoulement en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, pour un tuyau de diamètre 250 mm.

On prendra une vitesse d'écoulement de $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans un tuyau de 70 m de long et de 250 mm de diamètre.

Question 2.23 | **Calculer** la pression de pesanteur à 70 m de profondeur.

Question 2.24 | **Calculer** la puissance hydraulique de pompage requise en fonction des diamètres du tuyau et **compléter** le tableau sur le document réponse DR5.

La pompe centrifuge de type Damen OBP200-S simple étage a été sélectionnée. Ses spécifications techniques sont répertoriées dans le tableau 4 suivant :

OBP200-S	Requise
Débit sédimentaire requis [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]	670
Chute de pression requise [bar]	6,18
Puissance mécanique requise [kW]	138
Concentration volumique [%]	10
Vitesse d'écoulement [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	3,8
Taille maximale de particule [mm]	27
Production in situ [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]	110
Pertes électriques [%]	20

Tableau 3 - Caractéristiques de la pompe de dragage

Question 2.25 | **Tracer** et **relever** sur les courbes du document réponse DR6, la vitesse de rotation de la pompe en $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ correspondant aux valeurs de débit et de chute de pression du tableau 3.

On choisit une pompe de puissance de pompage de 105 kW. Cette pompe est commandée par une centrale hydraulique embarquée. Celle-ci est alimentée par un moteur électrique relié à la surface par un ombilical. Le rendement de cet ensemble est de 80 %. Les pertes mécaniques et hydrauliques de la motopompe sont quant à elles de 25 %.

Question 2.26 | **Compléter** la chaîne d'énergie de la pompe sur le document réponse DR7.

Question 2.27 | **Calculer** la puissance hydraulique requise pour faire fonctionner la pompe.

Bilan de puissance de la solution 3

La puissance hydraulique du robot est fournie par deux centrales hydrauliques embarquées, toutes les deux constituées d'un moteur électrique couplé à une pompe hydraulique. Sachant que tous les composants ne fonctionnent pas simultanément, deux moteurs délivrant une puissance de sortie de 225 kW chacun sont suffisants.

Question 2.28 | **Calculer** la puissance apparente en kVA du générateur sachant que facteur de puissance des deux centrales hydrauliques embarquées est de 0,85.

Question 2.29 | Comparer cette puissance avec celle nécessaire à la benne preneuse.

PARTIE 3 – Mise et maintien en position de la barge

Une barge est utilisée pour supporter et déplacer la benne ou le robot.

Localisation de la barge

Après avoir défini les zones où le dragage sera réalisé, il est important de positionner correctement la barge. Ce positionnement sera guidé par le système GNSS AtlasLink™ d'Hemisphere. Les déplacements de la barge évolueront en fonction du dragage à réaliser. L'ensemble de ces opérations sera automatique.

Il s'agit pour ce récepteur de capter un signal électromagnétique numérique et de le décoder pour calculer sa distance par rapport au satellite émetteur. Avec 4 distances de 4 satellites différents, il est possible de définir sa localisation. Le document DT7 donne brièvement les caractéristiques utiles pour notre étude.

Question 3.1 | À partir du document DT7, **compléter** le tableau DR8 en donnant la fréquence des deux porteuses principales.

On donne la formule $\lambda = c \cdot T$, avec $c = 3.10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la célérité du signal dans le vide et dans l'air.

Question 3.2 | **Compléter** le tableau DR8 en calculant la période et la longueur d'onde de chaque signal.

Pour comprendre ce qui est attendu du signal L1, il est utile d'étudier le principe d'élaboration de ce signal fourni par le modèle Matlab du document technique DT7.

Question 3.3 | **Tracer** sur le document DR9, le signal de la porteuse L1 appelé S_{L1} et défini tel que :

- $S_{L1} = A_{L1} \cdot \sin(\omega \cdot t)$;
- $A_{L1} = 3$ carreaux (la valeur de l'amplitude n'aura pas d'importance pour notre étude) ;
- le calibre de l'axe horizontal sera à préciser ;
- une représentation des plus précises est demandée.

Question 3.4 | À l'aide du document technique DT8, **identifier** le type de modulation utilisé pour le signal L1.

Question 3.5 | **Tracer** sur le document DR10, le signal modulé correspondant au code à envoyer.

Question 3.6 | **Tracer** sur le document DR11, le code à envoyer correspondant à l'extrait de signal de la simulation. La séquence de code commence par 0.

Pilotage des déplacements de la barge

La barge comprend à son bord le réseau d'automates décrit dans le document technique DT9. Ce réseau permet en toute autonomie, la gestion par des automates des déplacements de la barge et des opérations de dragage.

Le réseau Profinet est configuré grâce au logiciel STEP-7. Il permet d'attribuer un nom et une adresse IP à chaque appareil possédant une adresse MAC.

Question 3.7 | À partir du document DT9, **déterminer** si le réseau étudié est un réseau LAN, MAN ou WAN ?

Une adresse MAC (exemple : 08-00-06-6B-80-C0) permet d'identifier spécifiquement chaque appareil. Les trois premiers octets renseignent sur le constructeur et les trois derniers sur l'identification de l'appareil.

Question 3.8 | **Calculer** le nombre de constructeurs que ce système d'identification permet d'attribuer.

Une adresse IP (@IP) et un masque sous-réseau (M) sont attribués à chacun des appareils du réseau Profinet.

L'adresse de réseau @R résulte de la combinaison logique ET (représenté par l'opérateur & qui effectue un ET logique entre chaque bit de même rang) entre le masque M et l'adresse @IP :

$$@R = @IP \& M$$

La configuration d'un des appareils est :

$$\begin{aligned} @IP &= 172.30.100.15 \\ M &= 255.255.192.0 \end{aligned}$$

Question 3.9 | **Convertir** en binaire l'adresse @IP.

Question 3.10 | **Convertir** en binaire le masque de sous-réseau M.

Question 3.11 | **Effectuer** en binaire, l'opération donnant l'adresse @R du réseau auquel appartient cet appareil.

Question 3.12 | **Convertir** en décimale cette adresse @R.

Question 3.13 | **Préciser** l'appellation et le rôle de l'adresse @IP : 172.30.127.255 dans ce réseau.

Question 3.14 | **Calculer** le nombre d'appareils maximums que peut contenir ce réseau. **Expliquer** en quoi ce résultat est compatible ou non avec le schéma du document DT9.

Stabilisation de la barge

Cette partie porte sur le dimensionnement des caissons du ponton, sur lesquels va reposer l'ensemble des équipements techniques. Le dimensionnement consistera en la vérification de deux conditions de résistance : l'une vis-à-vis de l'effort tranchant et l'autre vis-à-vis du moment fléchissant, et d'une condition sur la déformation maximale des profilés.

Question 3.15 | À partir du diagramme des exigences et du diagramme d'Ashby, DT10, DT11 **justifier** le choix d'une structure porteuse en acier inoxydable pour le caisson.

Question 3.16 | À l'aide du diagramme des exigences, **donner** la hauteur maximale DT10 immergée autorisée du caisson pour éviter la présence d'eau sur la barge.

Question 3.17 | À partir de cette valeur et des caractéristiques du caisson, DT12 **déterminer** la masse maximum que pourra supporter un caisson. Cette masse sera exprimée en tonne arrondie au kg.

Par sécurité, pour la suite des calculs, la masse maximale supportée par un caisson prise sera égale à 16,5 tonnes.

Il s'agit maintenant de dimensionner les poutrelles des caissons constituant la barge. Les quatre faces du caisson sont reliées grâce à un réseau de poutrelles. Chaque extrémité de poutrelle est articulée aux parois du caisson. Les poutrelles de 1 à 3 reposent sur les poutrelles A à F. La charge sera répartie de manière homogène sur la surface du caisson.

Question 3.18 | **Déterminer** la valeur de la charge reprise par les poutrelles de 1 à DT13 3. Les valeurs seront exprimées en $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ à 10^{-2} près et on considérera $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Il s'agit maintenant de dimensionner les poutrelles A à F. Toutes les poutrelles seront identiques.

Question 3.19 | Parmi ces six poutrelles, **préciser** et **justifier** celles qui sont le plus DT13 sollicitées et qui permettront le dimensionnement.

Hypothèse : Le poids propre des poutrelles 1 à 3 sera considéré comme négligeable par rapport à la charge reprise.

Question 3.20 | **Compléter** le modèle 1D mécanique de la poutrelle C avec les DR12 valeurs des efforts ponctuels en kN.

Question 3.21 | À partir des diagrammes d'effort tranchant et de moment fléchissant DT14 fournis en annexe, **donner** les valeurs dimensionnant l'effort tranchant et le moment fléchissant.

L'Eurocode impose de respecter un critère de résistance d'une section soumise à un moment de flexion M_z :

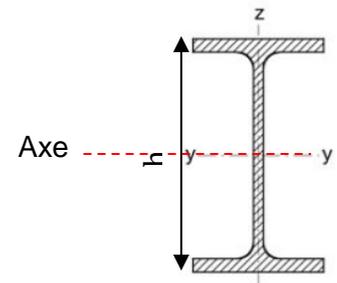
$$\sigma = \frac{M_z}{I_{yy}} \cdot \vartheta \leq f_y = 235 \text{ MPa} \quad (1^{\text{ième}} \text{ condition de l'Eurocode})$$

f_y : limite élastique de l'acier [MPa]

I_{yy} : inertie du profilé [m^4]

M_z : moment fléchissant [$\text{N}\cdot\text{m}$]

ϑ : distance entre l'axe neutre du profilé et la fibre la plus sollicitée [m]



Question 3.22
DT15

À partir du catalogue constructeur, **donner** la référence du profilé en acier inoxydable optimal permettant de satisfaire ce critère de résistance à la flexion.

Question 3.23
DT14, DT15

Vérifier que la deuxième condition de l'Eurocode, portant sur la résistance de la section sous un effort tranchant est également satisfaite pour le profilé retenu :

$$V \leq V_{max} = A_{vz} \cdot f_y / \sqrt{3} \quad (2^{\text{ème}} \text{ condition de l'Eurocode})$$

f_y : limite élastique [Pa] : 235 MPa

A_{vz} : aire cisailée [m^2]

Question 3.24
DT16

Vérifier que la troisième condition de l'Eurocode, portant sur la flèche maximale des profilés est satisfaite pour les profilés retenus. Le module d'Young E de l'acier sera pris égal à 210 GPa.

$$f_{max} \leq f_{admissible} \quad (3^{\text{ème}} \text{ condition de l'Eurocode})$$

$f_{admissible}$: longueur du profilé / 200

f_{max} : flèche maximale du profilé

Question 3.25 | **Conclure** quant au choix du profilé.

PARTIE 4 – Étude de la descente à 70m de profondeur

Dans cette partie l'étude porte sur les différentes phases de mises en mouvement pour le robot et pour la benne lors de la descente au fond de la retenue.

Les descentes de la benne et du robot doivent être conduites différemment. En effet, la benne doit descendre en chute libre pour permettre une pénétration maximale dans les sédiments tandis que le robot doit accoster le fond avec une vitesse maximale à ne pas dépasser pour ne pas être endommagé.

Question 4.1
DT17 | À partir des diagrammes des exigences du robot et de la benne, **décrire** les exigences relatives au contact avec le sol pour les deux solutions envisagées.

Question 4.2
DT18, DT20 | À l'aide des résultats d'une simulation de la phase de descente en chute libre dans l'eau, **déterminer** la nature du mouvement de la benne par rapport au sol au moment de l'impact.

Question 4.3
DT18, DT20 | À partir des caractéristiques de la benne, **calculer** l'énergie cinétique de la benne au moment de l'impact avec le sol à 70 m de profondeur.

Question 4.4
DT17 | **Conclure** quant aux conditions d'impact du diagramme des exigences de la benne.

Lors de la phase de descente, le robot est freiné par deux câbles reliés à deux treuils qui permettent de maîtriser la vitesse de descente.

Question 4.5
DT19, DT21 | À l'aide des courbes du déplacement du robot obtenues par simulation, **expliquer** les différentes étapes de la descente du robot jusqu'à une profondeur de 70 m.

Question 4.6
DT17, DT21 | **Expliquer** en quoi le modèle simulé correspond ou non aux exigences du cahier des charges.

Question 4.7
DR13 | Sur le document réponse DR13 qui représente le robot en phase de descente, **représenter** qualitativement :

- $\overrightarrow{A_{cable/robot}}$, la résultante des actions des câbles sur le robot en ramenés en un seul point A,
- \vec{P} , la résultante de la pesanteur en G,
- $\overrightarrow{B_{archi/robot}}$, la résultante de l'action de la force d'Archimède en B,
- $\overrightarrow{C_{eau/robot}}$, la résultante de l'action de trainée de l'eau sur le robot lors de la phase de descente en C.

On considère que le centre de poussée de la force d'Archimède est en B et que la masse volumique de l'eau est : $\rho = 1 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Lors du déplacement du robot dans l'eau, la résultante de l'action de trainée de l'eau sur le robot est appliquée en C et est définie par la relation :

$$\overrightarrow{F_{\text{eau/robot}}} = \frac{1}{2} \cdot S \cdot C_x \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \vec{z}$$

- avec :
- S : surface projetée du robot
 - $C_x = 1.2$: coefficient de trainée du robot
 - V : vitesse de déplacement du robot
 - ρ : masse volumique de l'eau

Pour les calculs on considéra que $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Question 4.8 | **Écrire** en G, les torseurs des actions mécaniques agissant sur le robot lors de la phase de descente.
DR13

Question 4.9 | **Appliquer** le principe fondamental de la dynamique au robot en phase de descente avec une accélération $\overrightarrow{a_G}$.

Question 4.10 | À partir des courbes du déplacement du robot obtenues par simulation et à l'aide de l'équation du principe fondamental de la dynamique appliqué au robot, **déterminer** la valeur de la force exercée par un câble sur le robot lorsque l'accélération est maximale.
DT21

Question 4.11 | **Proposer** une modification de la commande du freinage permettant de réduire l'effort sur le câble lors de la phase de freinage avant le contact avec le sol.

Pour la suite de l'étude, on considérera que $\|\overrightarrow{A_{\text{cable/robot}}}\| = 81 \cdot 10^3 \text{ N}$

Question 4.12 | Le câble étant réalisé en acier avec une limite élastique de 295 MPa, **déterminer** le diamètre minimum à prévoir pour le câble pour obtenir un coefficient de sécurité de 2.

Question 4.13 | **Conclure** quant aux conditions du diagramme des exigences.

Question 4.14 | **Conclure** sur le choix de la solution d'enlèvement des sédiments en fonction de la phase de descente dans l'eau.

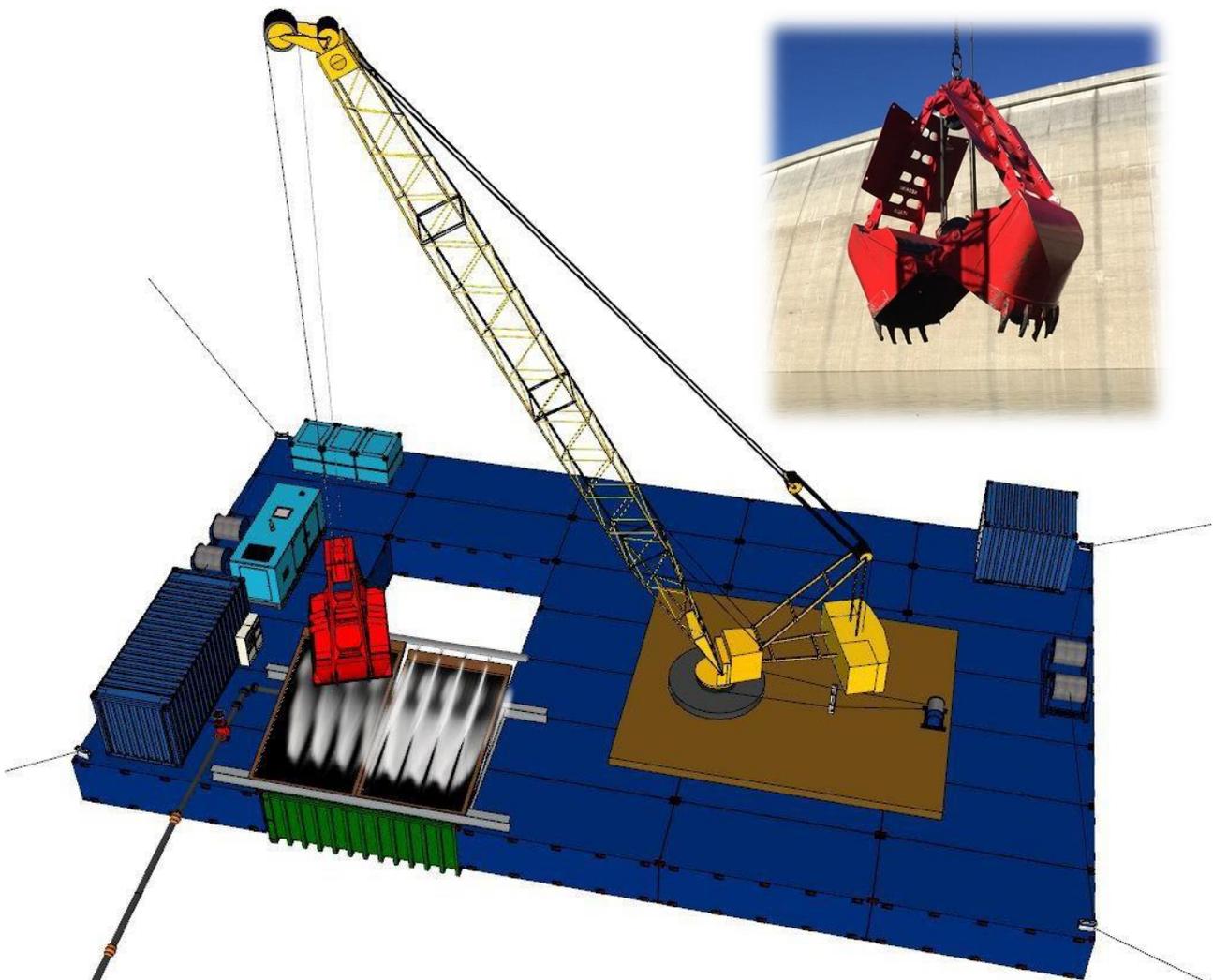
Question 4.15 | **Lister** les avantages et inconvénients des deux solutions.
Conclure sur le choix de la solution d'enlèvement des sédiments.

Dossier Technique

DT1 : Présentation des solutions automatisées

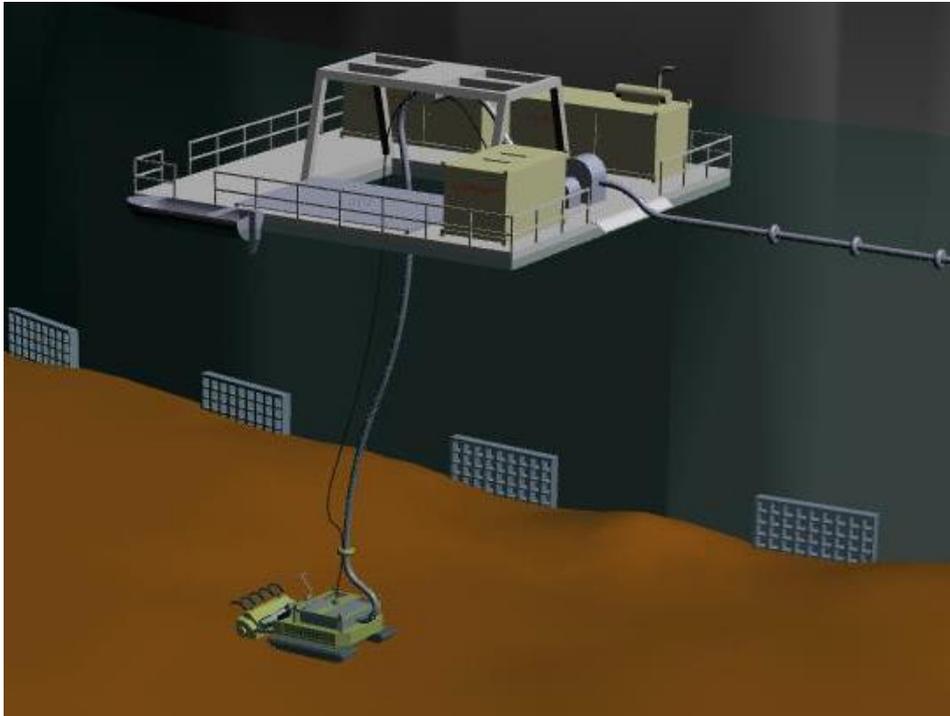
SOLUTION 2 – Benne automatisée

Un ponton contrôlé par treuils est muni d'un dispositif de levage d'une benne preneuse. La benne descend en fond de retenue et remonte les sédiments en surface. Elle se vide sur un système de crible placé au-dessous d'une cuve relais. Les bois, blocs rocheux et matériaux divers grossiers ne traversant pas le crible sont remis à l'eau ou triés pour évacuation et revalorisation. Les sédiments passant dans le crible sont fluidifiés, aspirés par une pompe à sédiments puis injectés dans la prise d'eau usinière, ou suivant les cas, ils peuvent être évacués vers un autre point de rejet.



SOLUTION 3 – Robot chenillé automatisé

Le robot se déplace en fond de retenue à l'aide de chenilles et drague les sédiments jusqu'à la surface avec une tête d'aspiration à l'avant du véhicule et une pompe à sédiments. La machine est aussi capable de broyer les obstacles bois à l'avant du véhicule et d'aspirer les copeaux jusqu'à la surface.



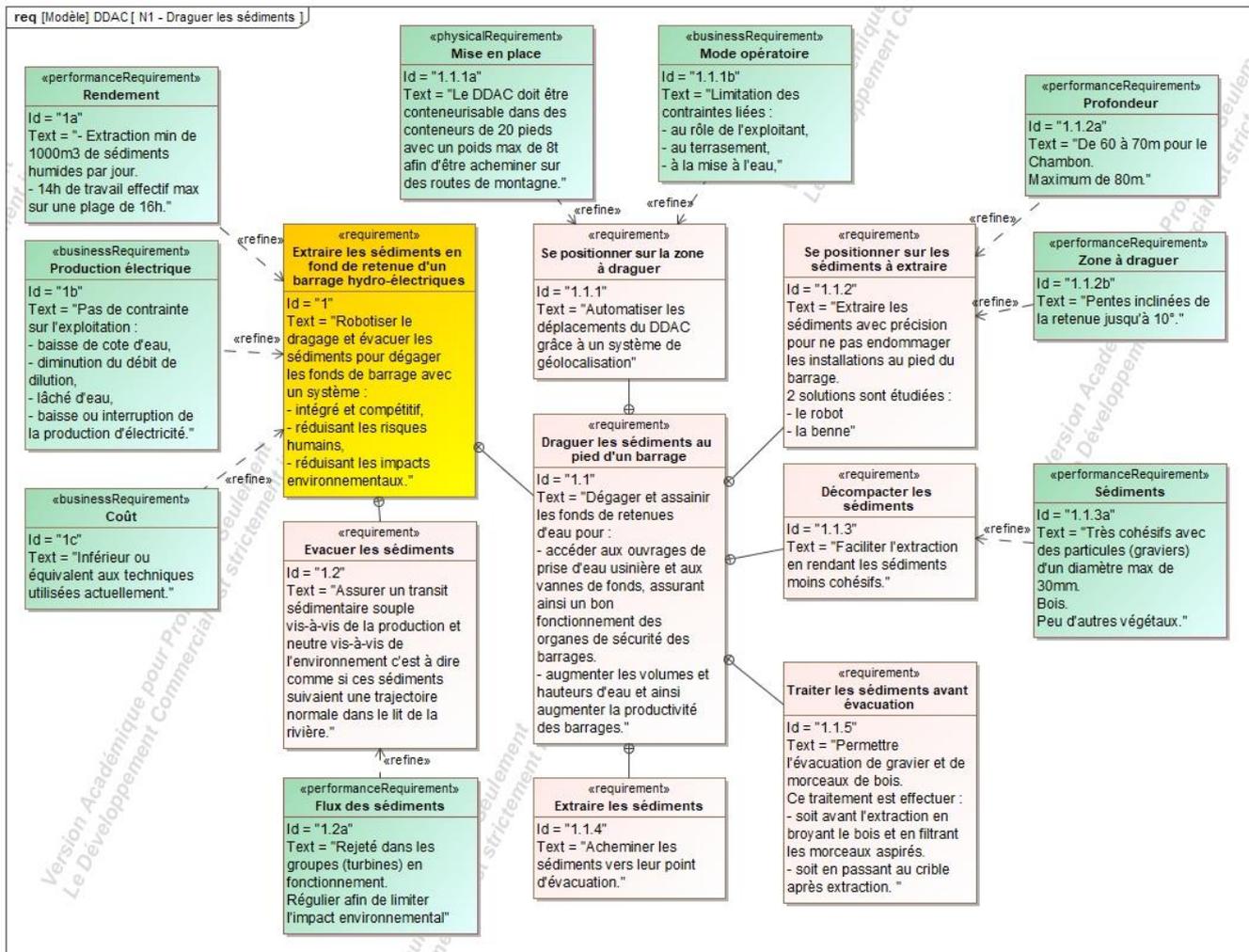
La taille approximative est de 6,7 m de long, 3,4 m de large pour une longueur totale maximale de 9 m lorsque le bras est étendu au maximum. Le poids total à sec du dispositif est d'environ 19 tonnes et selon les choix de configuration.



Les sédiments du Chambon sont majoritairement fins, mais le robot aura la capacité de traiter les graviers et cailloux ainsi que les copeaux de bois issus du broyage, d'où l'intérêt d'être en mesure d'aspirer cette taille de sédiments. Le fond des retenues d'eau contient des matériaux polluants déposés au fil du temps qu'il est préférable de ne pas dissoudre à nouveau. Ce système permet donc d'avoir un meilleur contrôle de la turbidité de l'eau sur cette zone de travail.

Concours général des lycées	2019
Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable	Page 15 / 34

DT2 : Diagrammes des exigences N1



DT3 : Caractéristique d'un travail de dragage avec la benne

Conditions : Dragage à la benne à une profondeur de 70m		Bennes			
		5 m ³	8 m ³	10 m ³	
Capacité benne	C _b	5	8	10	m ³
Durée d'un cycle	T _{cy}	5,23	5,23	5,23	min
Nombre de cycles par heure	N _R	11,5	11,5	11,5	
Volume de sédiments extraits en 1 heure sans pertes	V _{sp}	58	92	115	m ³ ·h
Pertes (par expérience)	10%	5,8	9,2	11,5	m ³ ·h
Volume de sédiments extraits en 1 heure avec pertes	V _{ap}	52,2	82,8	104	m ³ ·h
Masse de matériaux humides effectivement extraits	M _{ap}	95	152	188	t
Durée maximale de travail par jour	T _t		16		h
Temps de mise en place, maintenance et arrêts par jour			2		h
Durée de travail effectif maximale par jour	T _{te}		14		h
Mobilisation/démobilisation	T _{m/d}		20		j

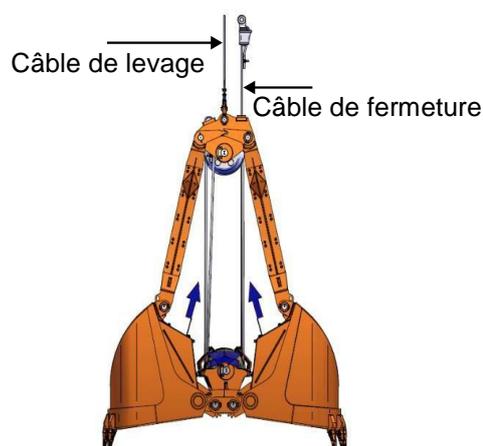
DT4 : Description de la benne

La benne est mécanique, à double câble, comme illustré à droite.

La fermeture de la benne s'effectue en enroulant le câble de fermeture sur 15,570 m en laissant le câble de levage statique. L'ouverture se fait par gravité uniquement en relâchant le câble de fermeture.

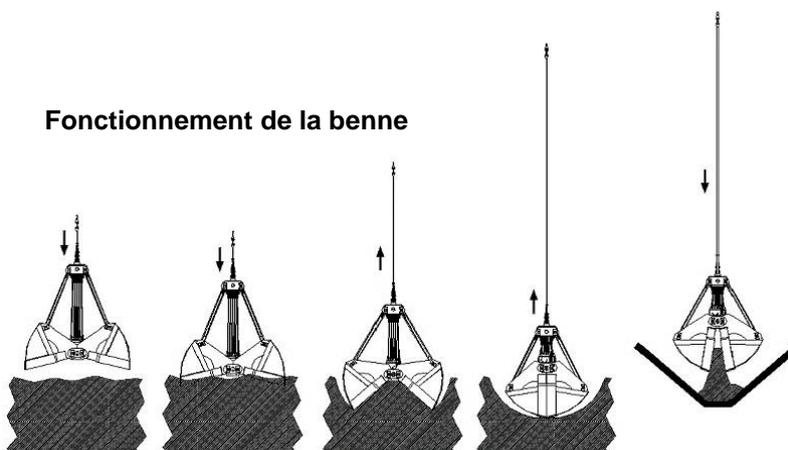
La benne est manutentionnée par 2 treuils hydrauliques :

Composants	Puissance sur l'arbre
Treuil de levage	112 kW
Treuil d'ouverture et de fermeture	100 kW



Benne à doubles câbles

Fonctionnement de la benne



Ces treuils fonctionnent quasiment en continu. Ils seront par conséquent équipés d'un système de refroidissement. Les treuils à chute libre sélectionnés ne travaillent pas lors de la descente de la benne et permettent d'optimiser le temps de cycle. La benne est placée ouverte juste en dessous de la surface de l'eau puis laissée tomber par gravité jusqu'au fond de la retenue. La benne n'est ni freinée ni retenue par les treuils pour limiter leurs échauffements. Une légère tension de plusieurs kilonewtons est tout de même mise dans les treuils pour éviter leur évidement au moment où la benne touche le fond sédimentaire.

De la capacité et performance des treuils dépend le temps de monter de la benne en charge et donc le temps de cycle total de la benne.

Les treuils seront équipés de variateurs de vitesse, car la benne doit ralentir avant de sortir de l'eau et les treuils fonctionneront à vitesse lente lorsqu'elle sera hors de l'eau et lors du déchargement sur le dispositif de filtration/fluidification. Les variateurs permettent par ailleurs un interfaçage avec le système de contrôle/commande. Il faudra également prévoir un système de refroidissement de ces treuils puisqu'ils fonctionneront quasiment en continu.

DT5 : Les puissances en régime sinusoïdal

En régime sinusoïdal, la puissance active P d'un appareil électrique est le produit de la valeur efficace de la tension à ses bornes U , de la valeur efficace de l'intensité qui le traverse I et du cosinus du déphasage courant - tension :

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

P s'exprime en watt (W), U en volt (V) et I en Ampère (A).

On appelle puissance apparente S le produit de la valeur efficace de la tension U par la valeur efficace de l'intensité du courant électrique I :

$$S = U \cdot I$$

S s'exprime en volt-ampère (VA), U en volt (V) et I en ampère (A).

On définit le facteur de puissance f_p d'un appareil comme le rapport de sa puissance active P et de sa puissance apparente S :

$$f_p = P / S$$

Il s'agit d'un nombre sans dimension toujours inférieur ou égal à 1.
Plus ce nombre est proche de 1, meilleure est l'efficacité d'un appareil.

En régime sinusoïdal,

$$f_p = \cos\varphi$$

DT6 : Batterie AGM à décharge profonde 12 V - 150 Ah - EV512A-150

Des batteries AGM spécialement conçues pour les véhicules électriques (matériel de nettoyage, manutention...) et les énergies renouvelables.

Les avantages des batteries AGM : charge rapide (0,3 C10 en continu !) et décharge rapide, sans entretien, résistance aux vibrations

Les avantages des batteries Gel : capacité à la décharge profonde, bonne durée de vie en cyclage

La gamme des batteries Discover est directement concurrente des batteries Gel Sonnenschein GF - V.

Durée de vie :

500 cycles à 80 % de décharge
1000 cycles à 50 % de décharge
2800 cycles à 20 % de décharge

Caractéristiques :

Tension Nominale : 12 V
Capacité (C5) : 130 Ah
Capacité (C20) : 150 Ah
Dimensions (L x l x H) : 341 x 173 x 288 mm
Poids : 40 kg



Concours général des lycées	2019
Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable	Page 18 / 34

DT7 : GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System) est le système général de localisation par satellites. Le **GPS** (Global Positioning System) est le GNSS développé en premier par les Américains.

L'émission des signaux par les satellites se fait principalement sur 2 fréquences porteuses différentes nommées **L1** et **L2**.

Chaque satellite émet trois types de données :

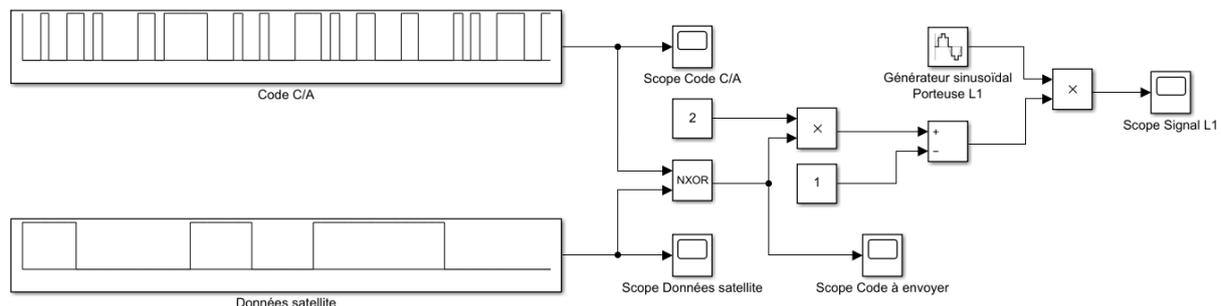
- Les données satellites (éphémérides) qui localisent celui-ci autour de la terre.
- Le code C/A qui permet un calcul approximatif du retard de réception du signal.
- Le code P qui permet un calcul plus précis, mais réservé à un usage militaire.

Propriétés générales du système GPS :

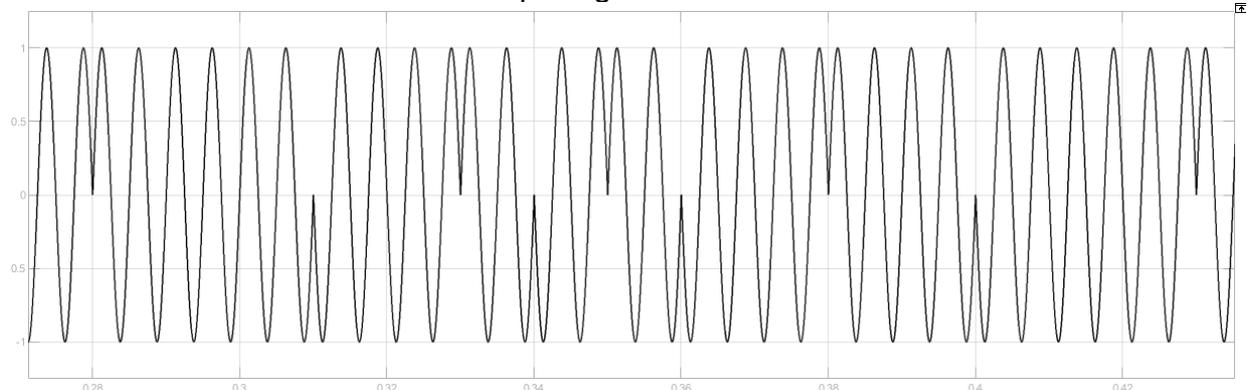
Fréquence fondamentale interne de l'horloge satellite : $f_0 = 10,23\text{MHz}$

Bande GPS	L1		L2
Fréquence de la porteuse	= $154 \times 10,23 \text{ MHz}$ = $1575,42 \text{ MHz}$		= $120 \times 10,23 \text{ MHz}$ = $1227,60 \text{ MHz}$
Code	C/A	P	P
Puissance	-160 dBW	-163 dBW	-166 dBW
Débit	$1,023 \text{ Mchips}\cdot\text{s}^{-1}$	$10,23 \text{ Mchips}\cdot\text{s}^{-1}$	$10,23 \text{ Mchips}\cdot\text{s}^{-1}$
Modulation	BPSK	BPSK	BPSK

Modèle Matlab pour l'étude du signal envoyé sur la porteuse L1

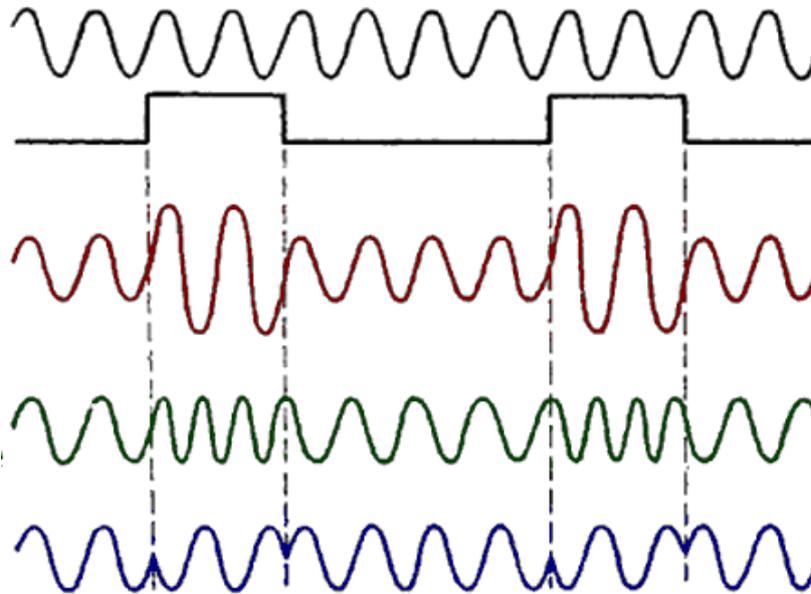


Extrait du résultat obtenu sur le Scope Signal L1



DT8 : différents types de modulation

La modulation de signal est utilisée pour la transmission d'informations analogiques comme pour les radios FM ou numériques comme pour le GPS ou le WiFi.



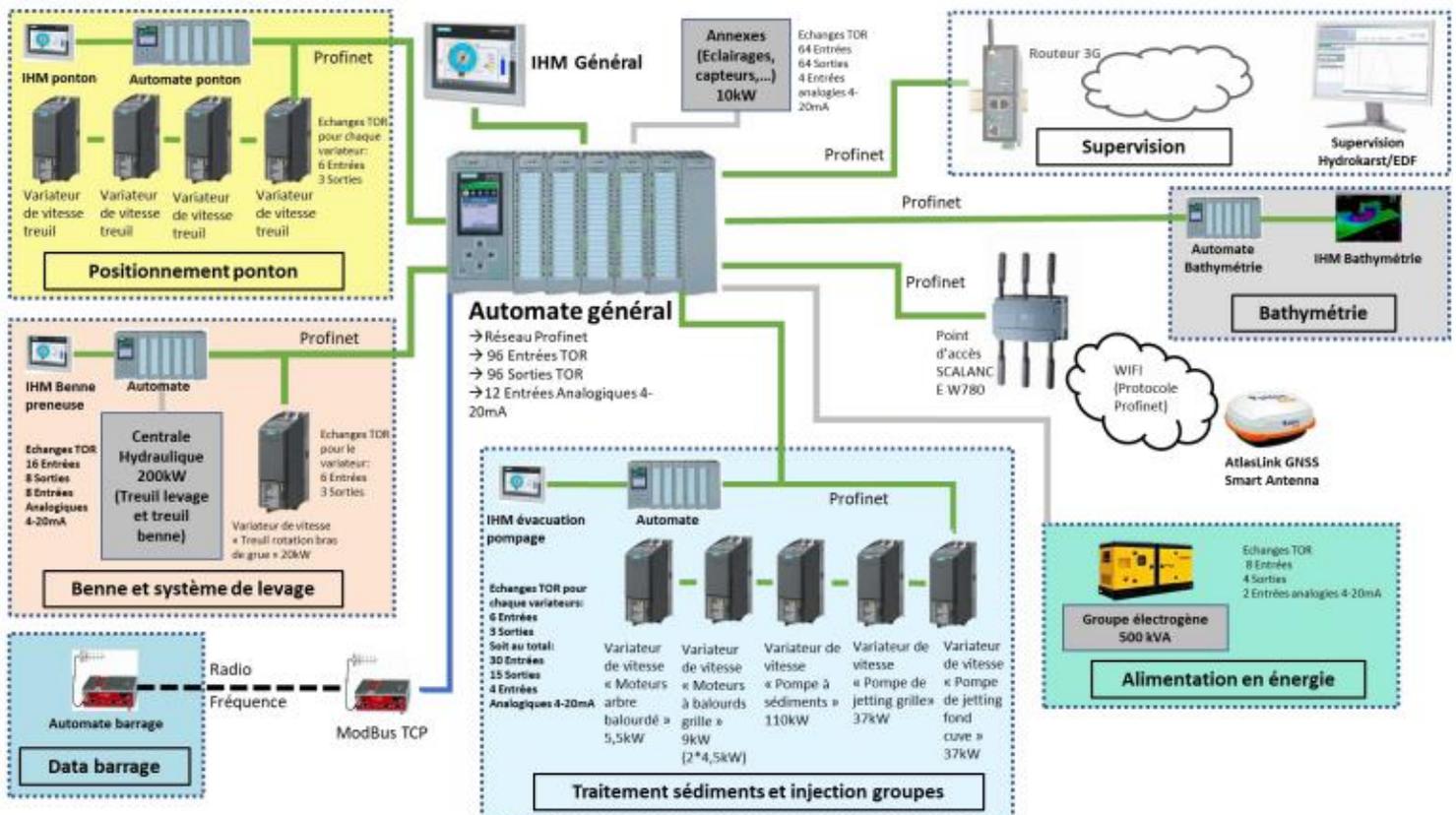
En numérique, la combinaison d'un signal sinusoïdal (porteuse) et d'un signal binaire (code) donne :

Résultat obtenu en modulation d'amplitude

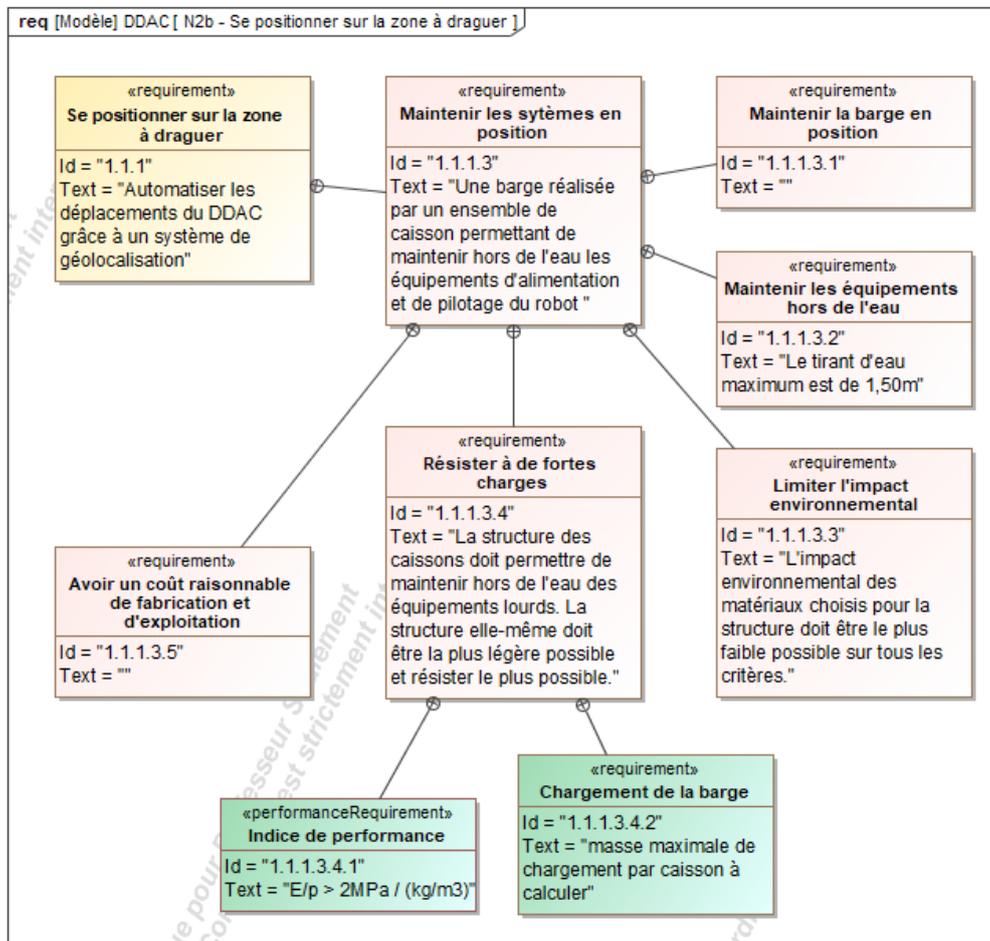
Résultat obtenu en modulation de fréquence

Résultat obtenu en modulation de phase

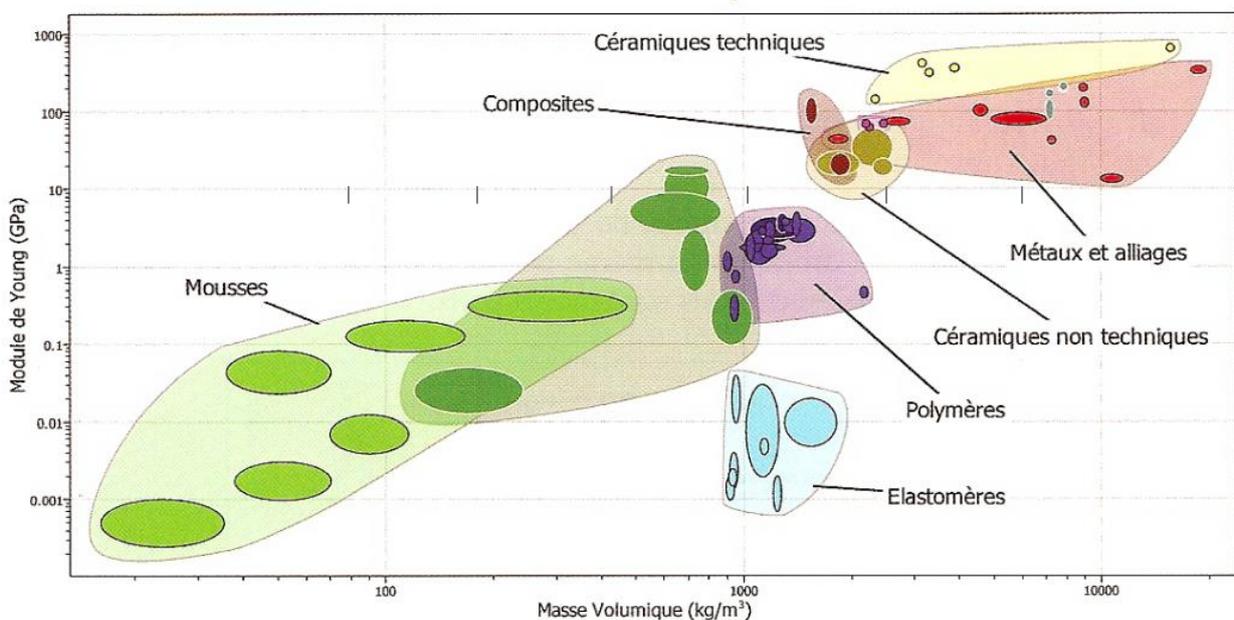
DT9 : Réseau Profinet installé sur la barge



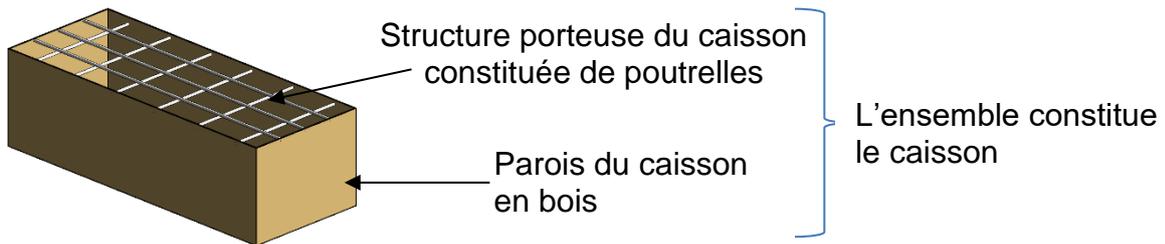
DT10 : Diagramme des exigences de la barge



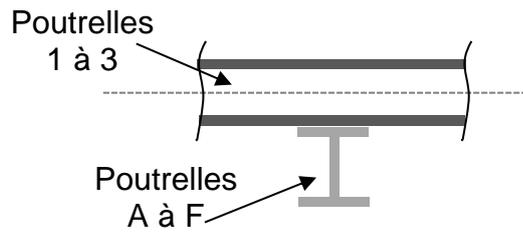
DT11 : Diagramme d'Ashby



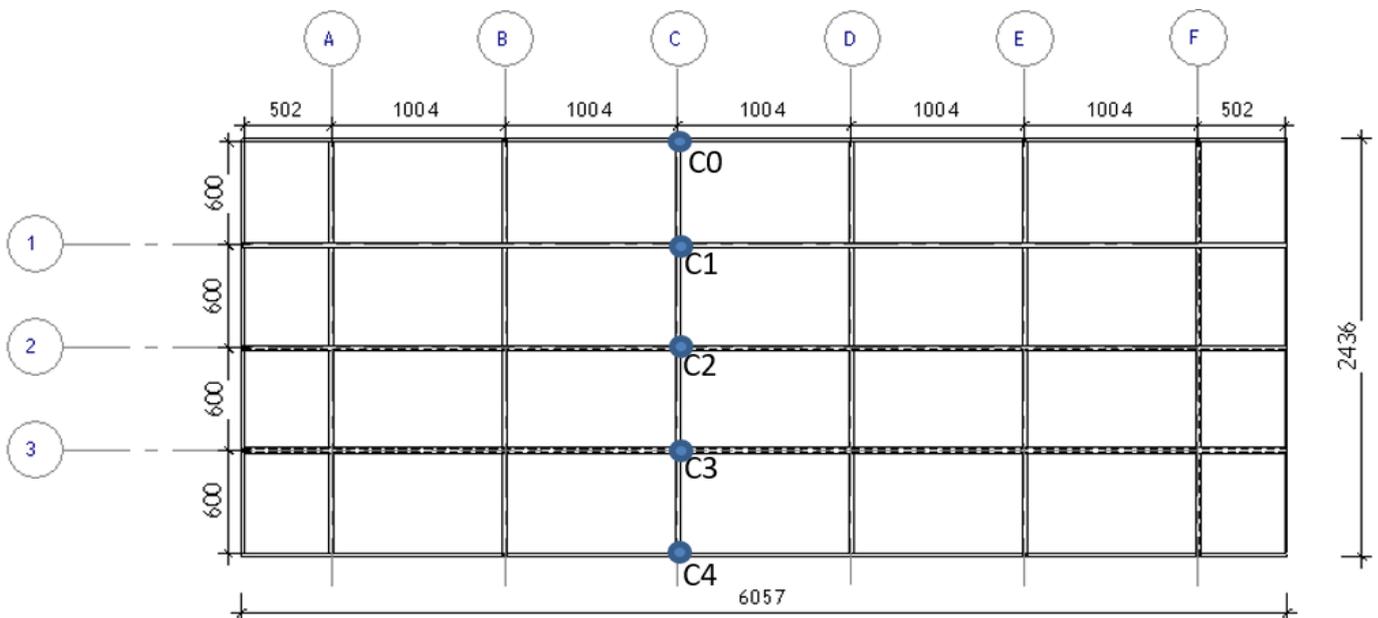
DT12 : Caractéristiques d'un caisson



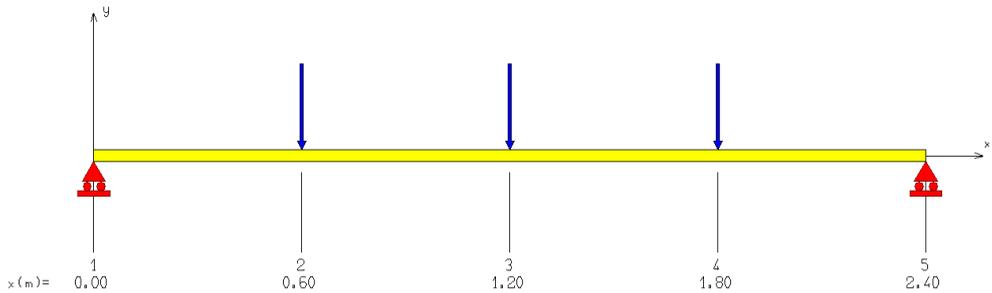
Longueur : 6.058m
 Largeur : 2.436 m
 Profondeur : 1.8m
 Masse d'un caisson : 5350 kg



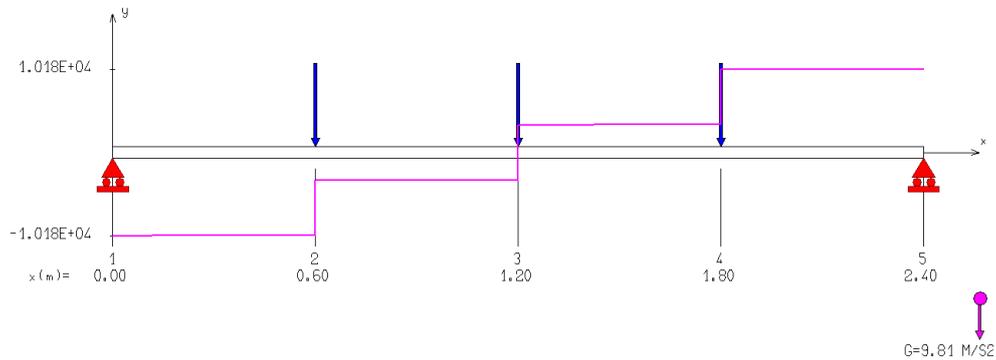
DT13 : Vue en plan d'un caisson avec repérage des poutrelles



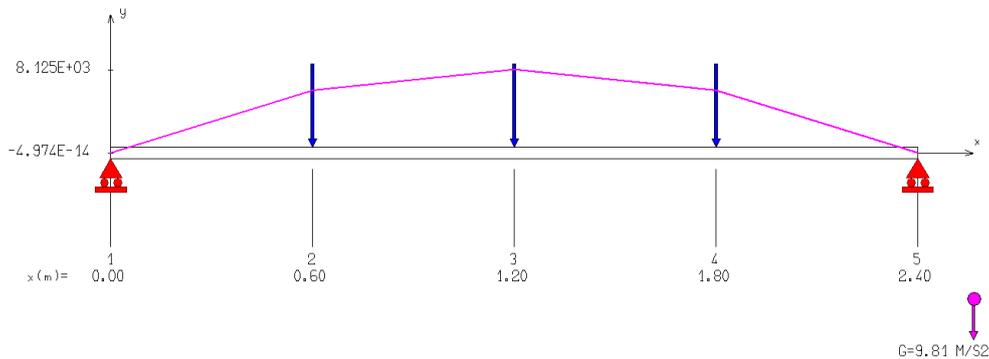
DT14 : Diagramme et résultats des moments et de l'effort tranchant de la poutre C



EFFORT TRANCHANT [N]



MOMENT FLECHISSANT [N.m]

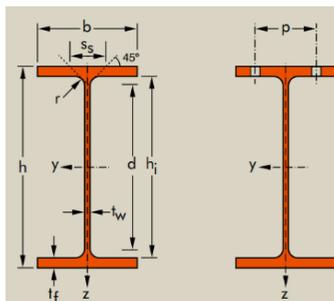


+-----+
| Efforts intérieurs [N N.m MPa] |
+-----+

Ty = Effort tranchant Mfz = Moment fléchissant Sxx = Contrainte normale

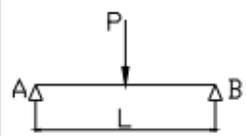
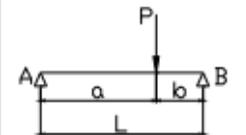
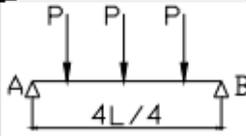
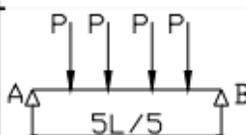
Noeud	Ty	Mfz	Sxx
1	-10186.30	-0.00	-0.00
2	-10125.65	6093.58	115.06
2	-3415.65	6093.58	115.06
3	-3355.00	8124.78	153.42
3	3355.00	8124.78	153.42
4	3415.65	6093.58	115.06
4	10125.65	6093.58	115.06
5	10186.30	0.00	0.00

DT15 : Extrait du catalogue constructeur- Profilés IPE



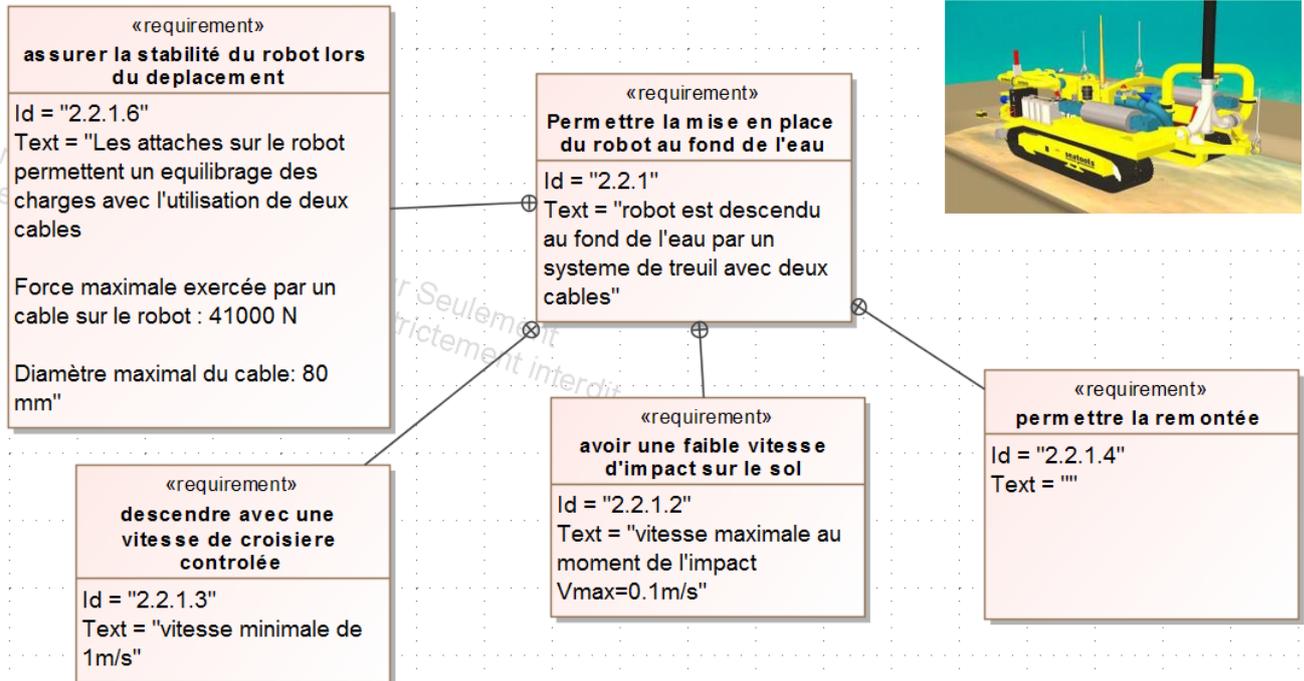
Désignation	Dimensions						Dimensions de construction						Valeurs statiques											
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm	A mm ²	h ₁ mm	d mm	∅ mm	P _{min} mm	P _{max} mm	axe fort y-y						axe faible z-z					
													l _y mm ⁴	W _{el,y} mm ³	W _{pl,y} ^o mm ³	i _y mm	A _{Vz} mm ²	l _z mm ⁴	W _{el,z} mm ³	W _{pl,z} ^o mm ³	i _z mm	S _s mm	I _t mm ⁴	I _w mm ⁶
IPE A 80 ^y *	5,0	78	46	3,3	4,2	5	6,38	69,6	59,6	-	-	-	64,38	16,51	18,98	3,18	3,07	6,85	2,98	4,69	1,04	17,60	0,42	0,09
IPE 80*	6,0	80	46	3,8	5,2	5	7,64	69,6	59,6	-	-	-	80,14	20,03	23,22	3,24	3,58	8,49	3,69	5,82	1,05	20,10	0,70	0,12
IPE A 100 ^y *	6,9	98	55	3,6	4,7	7	8,78	88,6	74,6	-	-	-	141,2	28,81	32,98	4,01	4,44	13,12	4,77	7,54	1,22	21,20	0,77	0,28
IPE 100*	8,1	100	55	4,1	5,7	7	10,3	88,6	74,6	-	-	-	171,0	34,20	39,41	4,07	5,08	15,92	5,79	9,15	1,24	23,70	1,20	0,35
IPE A 120*	8,7	117,6	64	3,8	5,1	7	11,0	107,4	93,4	-	-	-	257,4	43,77	49,87	4,83	5,41	22,39	7,00	10,98	1,42	22,20	1,04	0,71
IPE 120	10,4	120	64	4,4	6,3	7	13,2	107,4	93,4	-	-	-	317,8	52,96	60,73	4,90	6,31	27,67	8,65	13,58	1,45	25,20	1,74	0,89
IPE A 140*	10,5	137,4	73	3,8	5,6	7	13,4	126,2	112,2	-	-	-	434,9	63,30	71,60	5,70	6,21	36,42	9,98	15,52	1,65	23,20	1,36	1,58
IPE 140	12,9	140	73	4,7	6,9	7	16,4	126,2	112,2	-	-	-	541,2	77,32	88,34	5,74	7,64	44,92	12,31	19,25	1,65	26,70	2,45	1,98
IPE A 160*	12,7	157	82	4	5,9	9	16,2	145,2	127,2	-	-	-	689,3	87,81	99,09	6,53	7,80	54,43	13,27	20,70	1,83	26,34	1,96	3,09
IPE 160	15,8	160	82	5	7,4	9	20,1	145,2	127,2	-	-	-	869,3	108,7	123,9	6,58	9,66	68,31	16,66	26,10	1,84	30,34	3,60	3,96
IPE A 180*	15,4	177	91	4,3	6,5	9	19,6	164	146	M10	48	48	1063	120,1	135,3	7,37	9,20	81,89	18,00	27,96	2,05	27,84	2,70	5,93
IPE 180	18,8	180	91	5,3	8	9	23,9	164	146	M10	48	48	1317	146,3	166,4	7,42	11,25	100,9	22,16	34,60	2,05	31,84	4,79	7,43
IPE O 180*	21,3	182	92	6	9	9	27,1	164	146	M10	50	50	1505	165,4	189,1	7,45	12,70	117,3	25,50	39,91	2,08	34,54	6,76	8,74
IPE A 200*	18,4	197	100	4,5	7	12	23,5	183	159	M10	54	58	1591	161,6	181,7	8,23	11,47	117,2	23,43	36,54	2,23	32,56	4,11	10,53
IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	12	28,5	183	159	M10	54	58	1943	194,3	220,6	8,26	14,00	142,4	28,47	44,61	2,24	36,66	6,98	12,99
IPE O 200*	25,1	202	102	6,2	9,5	12	32,0	183	159	M10	56	60	2211	218,9	249,4	8,32	15,45	168,9	33,11	51,89	2,30	39,26	9,45	15,57
IPE A 220*	22,2	217	110	5	7,7	12	28,3	201,6	177,6	M12	60	62	2317	213,5	240,2	9,05	13,55	171,4	31,17	48,49	2,46	34,46	5,69	18,71
IPE 220	26,2	220	110	5,9	9,2	12	33,4	201,6	177,6	M12	60	62	2772	252,0	285,4	9,11	15,88	204,9	37,25	58,11	2,48	38,36	9,07	22,67
IPE O 220*	29,4	222	112	6,6	10,2	12	37,4	201,6	177,6	M12	58	66	3134	282,3	321,1	9,16	17,66	239,8	42,83	66,91	2,53	41,06	12,27	26,79

DT16 : Extrait de formulaire de résistance des matériaux

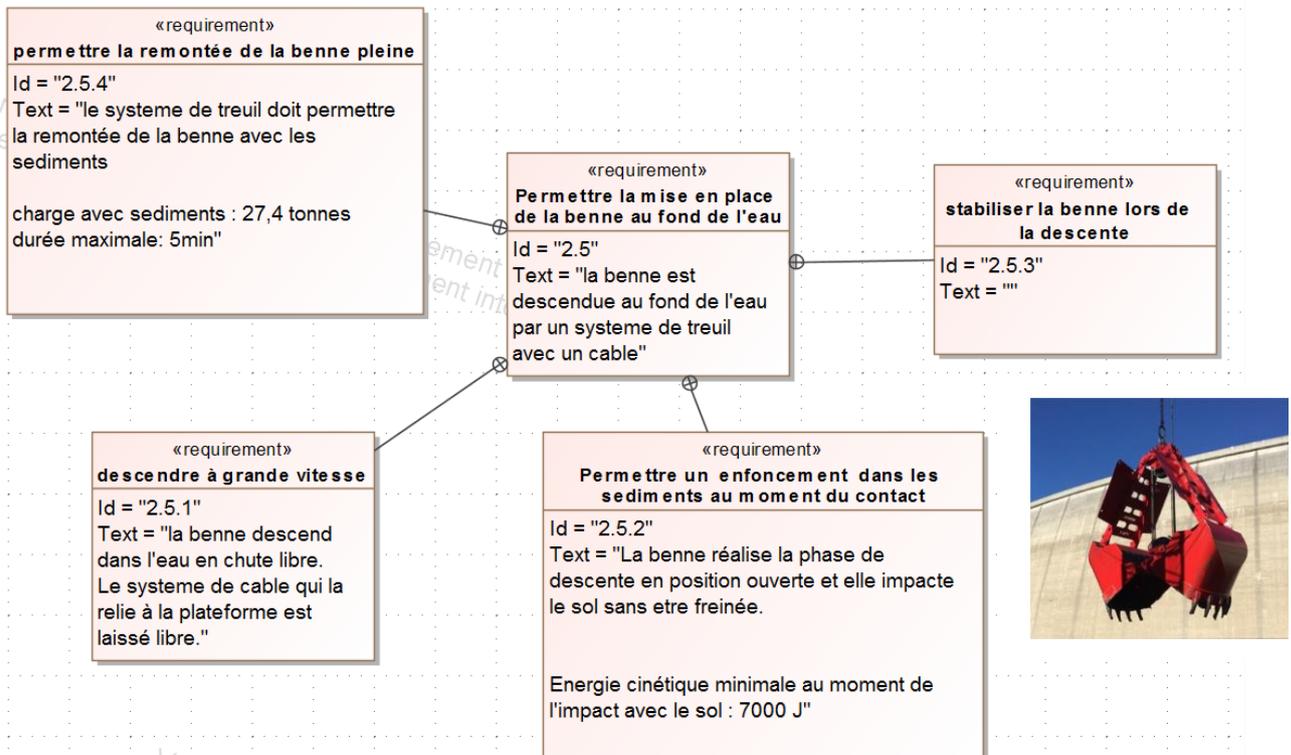
Cas de charges	Réactions aux appuis	Moment maximum	flèche L en m H en mm σ en DaN/mm ²	Flèche à l/2	Rotation aux appuis
	$\frac{P}{2}$	$M_{L/2} = \frac{PL}{4}$	$0.79 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{PL^3}{48EI}$	$\theta_A = -\frac{PL^2}{16EI}$ $\theta_B = +\frac{PL^2}{16EI}$
	$R_A = \frac{Pb}{L}$ $R_B = \frac{Pa}{L}$	$M_0 = M_a = \frac{Pab}{L}$ $M_{L/2} = \frac{Pb}{2}$ (a>b)		$f_{l/2} = \frac{-Pb}{48EI} (3L^2 - 4b^2)$ $f_a = \frac{-Pa^2b^2}{3EIL}$ $f_{max} = \frac{-Pb}{27EIL} \sqrt{3(L^2 - b^2)^3}$	$\theta_A = \frac{Pb}{6EIL} (b^2 - L^2)$ $\theta_B = \frac{Pa}{6EIL} (L^2 - a^2)$
	P	$M_{L/2} = \frac{PL}{3}$	$1.01 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{23PL^3}{648EI}$	
	$\frac{3P}{2}$	$M_{L/2} = \frac{PL}{2}$	$0.84 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{19PL^3}{384EI}$	
	2P	$M_{L/2} = \frac{3PL}{5}$	$1.0 \frac{\sigma L^2}{h}$	$\frac{63PL^3}{1000EI}$	

DT17 : Diagrammes des exigences pour la descente

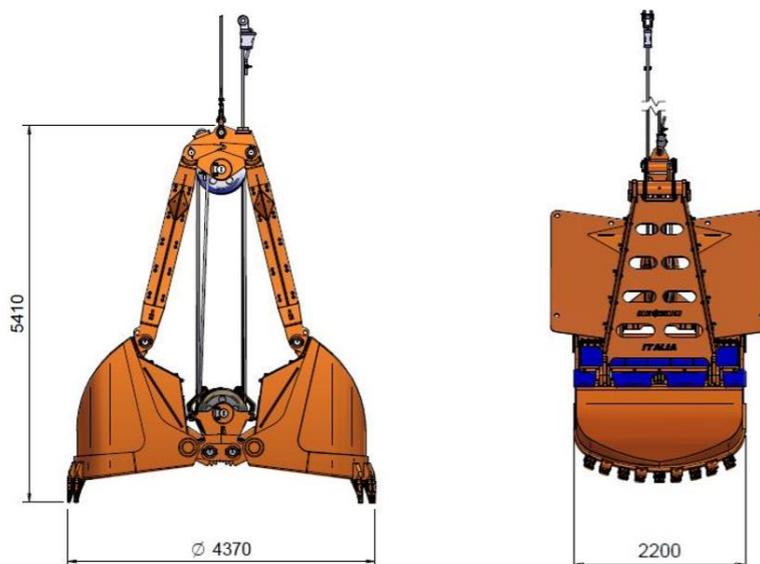
Pour le robot :



Pour la benne :

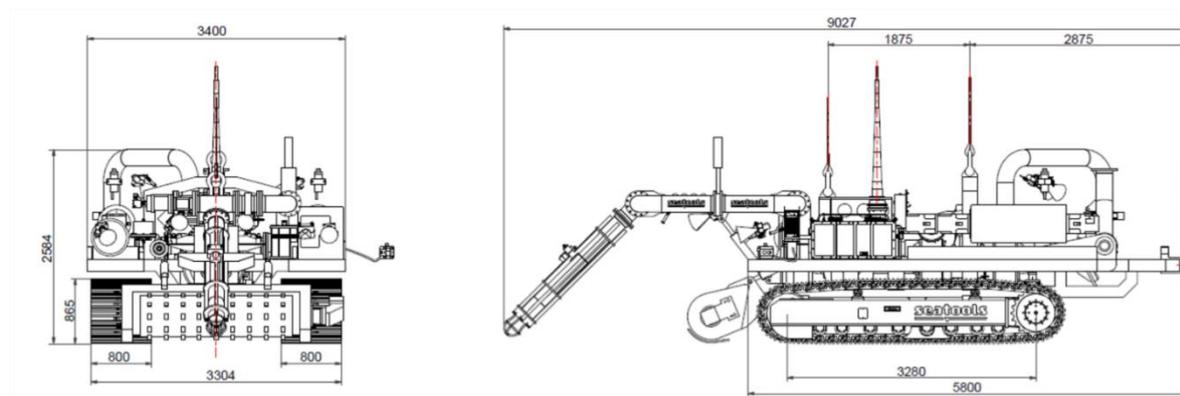


DT18 : Caractéristiques de la benne



Masse à vide	9,3 T
Masse totale lors de la remontée	27,4 T
Longueur hors tout	4,37 m
Largeur hors tout	2,2 m
Hauteur hors tout	5,41 m

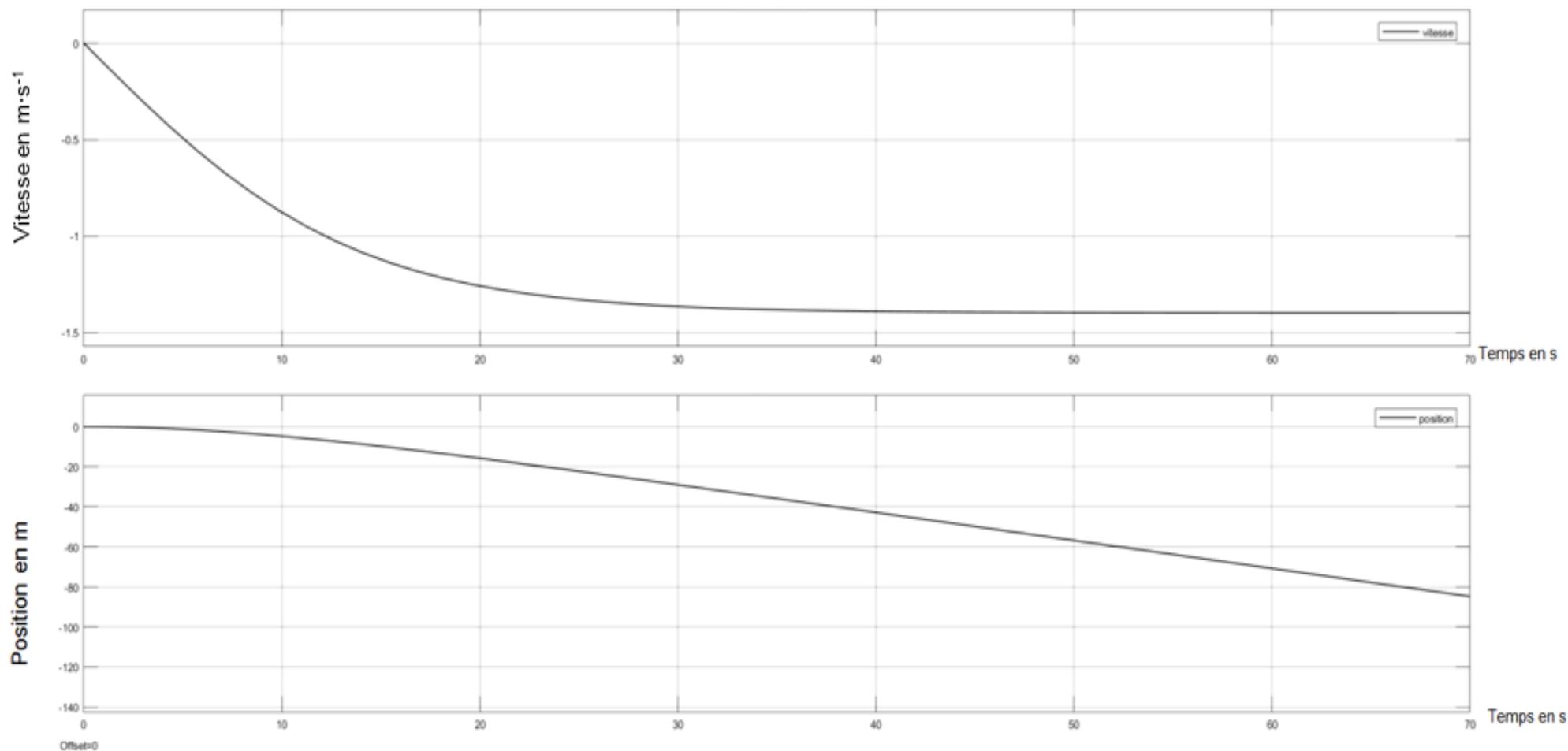
DT19 : Caractéristiques du robot



Masse	19,2 T
Longueur hors tout	6,1 m
Largeur hors tout	3,304 m
Hauteur hors tout	2,584 m
Volume	11,32 m ³
Surface projetée	20,13 m ²

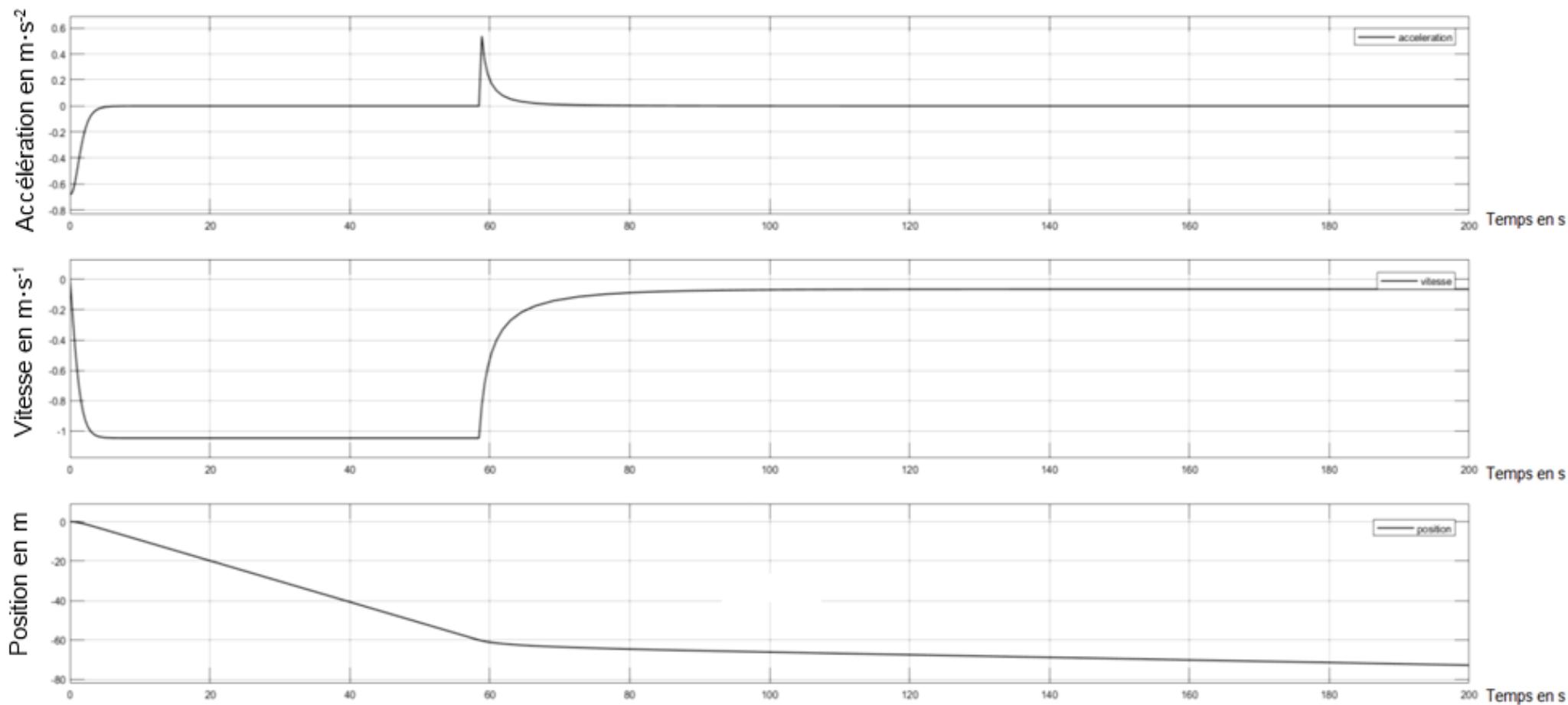
DT20 : Résultats de simulations pour la benne

Descente en chute libre de la benne :



DT21 : Résultats de simulations pour le robot

Descente avec freinage du robot :



Documents Réponse

DR1 : Comparaison des solutions envisagées

Question 1.1

<u>Critères notes + ou -</u>	Fiabilité d'exploitation	Investissement initial Coût exploitation	Environnement	Adaptabilité sur d'autres chantiers	Précision dragage
Solution de dragage					
1- Vidange du barrage		-	-	+	
2- Benne preneuse automatisée					
3- Robot chenillé					

Liste des critères retenus :

Fiabilité d'exploitation

- Robustesse de la solution ;
- Limitation des arrêts de production ;
- Facilité d'entretien et de maintenance ;

Investissement initial - Coût d'exploitation

- Coût de conception et de fabrication du système ;
- Coût de mobilisation/démobilisation ;
- Coût journalier ;

Respectueux de l'environnement

- Pollution aquatique ;
- Contrôle de la turbidité ;
- Pollution visuelle ;
- Consommation d'énergie limitée ;

Précision de dragage

- Positionnement précis du dispositif ;
- Capacité à travailler proche des ouvrages.

DR2 : Bilan de consommation du système de levage

Question 2.8

Phases	Durée en s	Force en kN	Vitesse en m·s ⁻¹	Puissance en kW	Énergie en kJ
Fermeture benne	18			100	
Levage de la benne pleine dans l'eau	120	172	25		
Levage de la benne pleine hors de l'eau	6	268	20		
Rotation	29			20	
Descente de la benne pleine	6				
Ouverture de la benne	10			100	
Levage de la benne vide	6		20		
Rotation	29			20	
Descente de la benne vide	90				
Cycle complet	TOTAL				
Cycle complet en kWh =					

Seules les cases blanches sont à compléter.

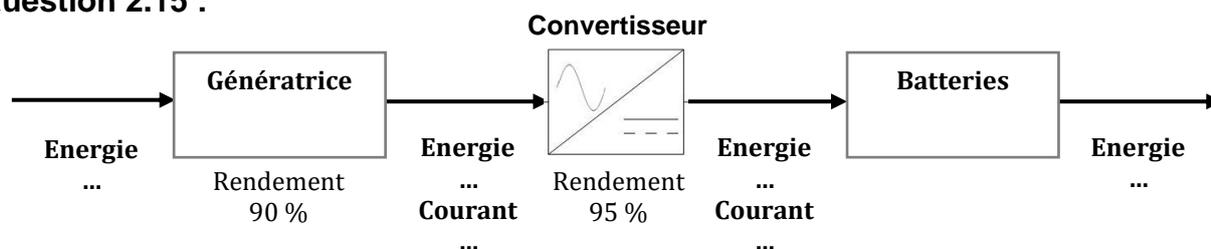
DR3 : Bilan de puissance électrique de la solution 1

Question 2.10 :

Composants	Puissance électrique en kW
Centrale hydraulique treuils	
Treuil rotation bras de grue	20
Treuil déplacement ponton x4	6 x 4
Pompe à sédiments de la cuve relais	110
Pompe de jetting sur grille de défense	37
Pompe de jetting fond de cuve	37
Moteurs à balourds de grille de défense	9
Moteur arbre balourdé filtrateur	5,5
Annexes (éclairage, capteurs...)	10
Total puissance électrique	

DR4 : Récupération de l'énergie dans des batteries

Question 2.15 :



DR5 : Caractéristiques du pompage

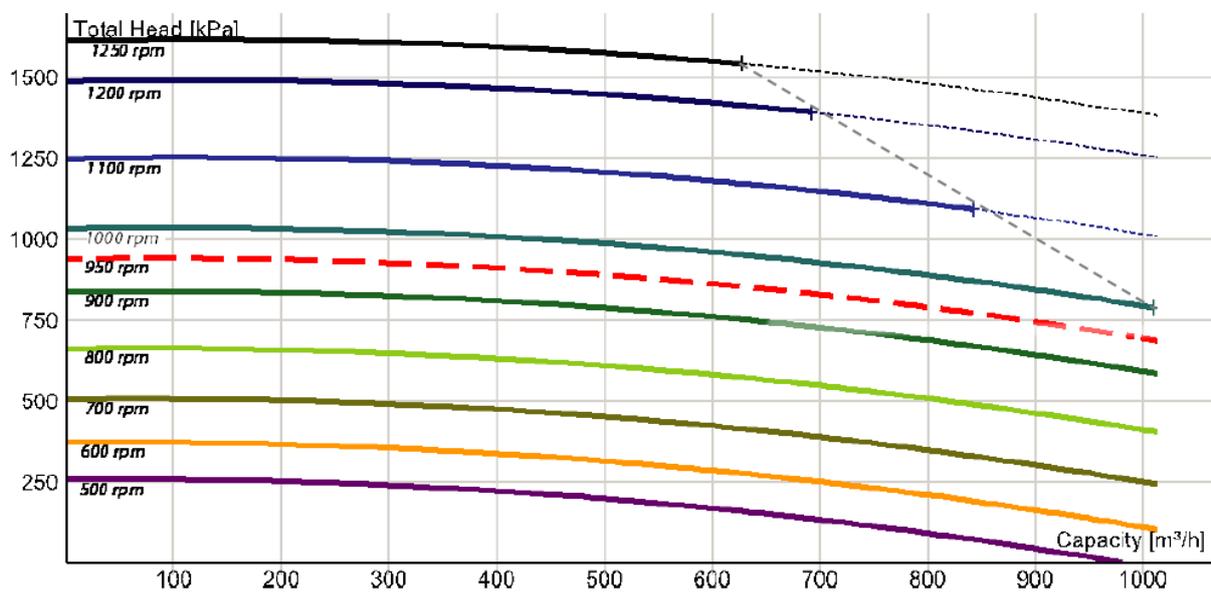
Question 2.24 :

		D 200 mm	D 250 mm	D 300 mm
Vitesse du mélange	$V_{mél}$	$5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Pression pompe requise	p_{req}	7,70 bars	6,18 bars	5,99 bars
Puissance ¹ hydraulique de pompe requise	P_{hyd}			

¹ Puissance hydraulique transmise au mélange eau-sédiments.

DR6 : Courbe de fonctionnement de la pompe de dragage

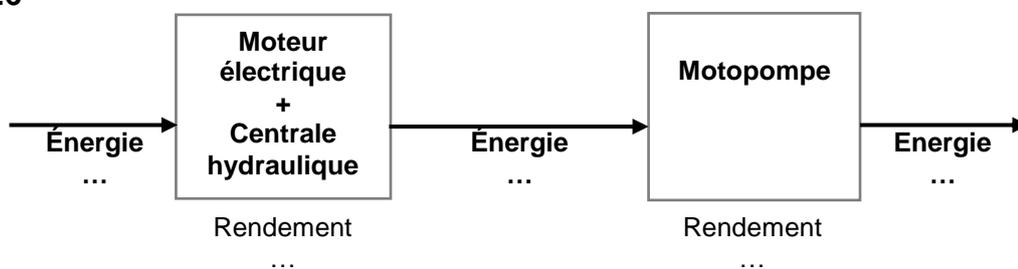
Question 2.25 :



Valeur de la vitesse de rotation relevée : ...

DR7 : Chaîne d'énergie de la pompe

Question 2.26



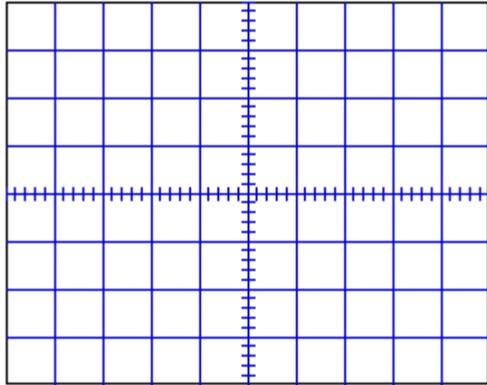
DR8 : Caractéristiques des porteuses principales des signaux GNSS

Question 3.1 et 3.2

	Fréquence f	Période T	Longueur d'onde λ
L1			
L2			

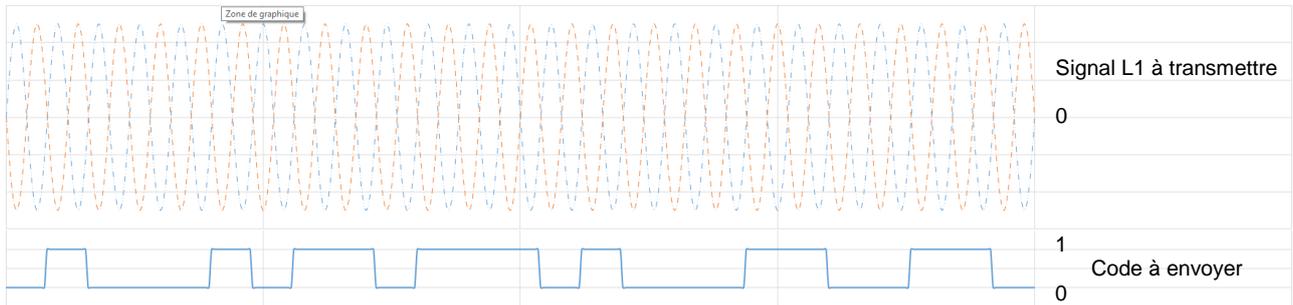
DR9 : Visualisation d'une porteuse de signal GNSS

Question 3.3



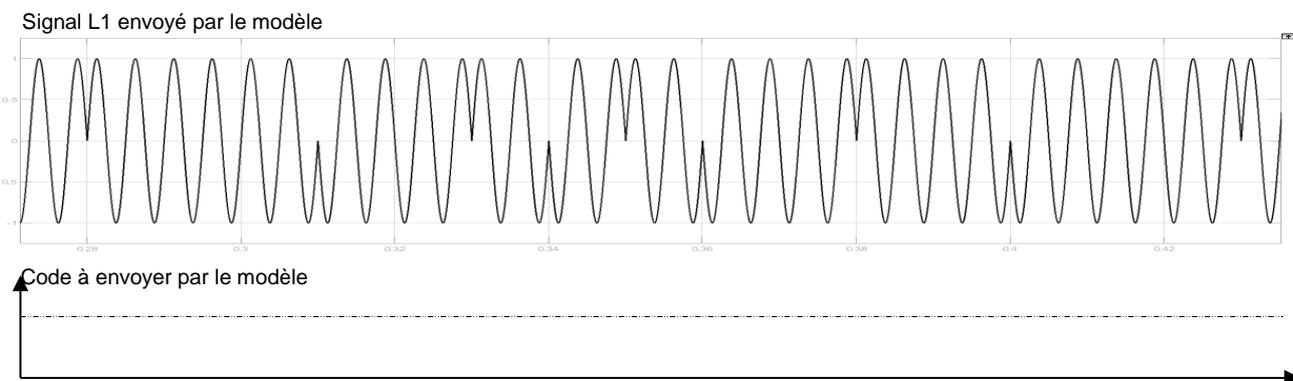
DR10 : Codage du signal à envoyer sur L1

Question 3.5



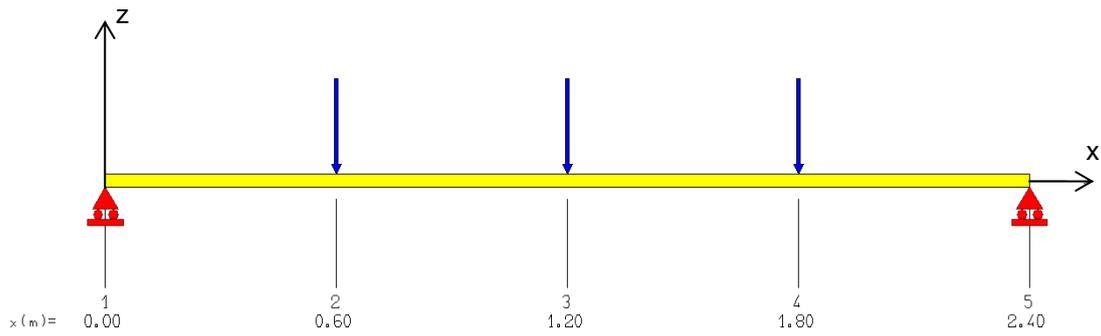
DR11 : Décodage du signal envoyé par le modèle du document DT7

Question 3.6



DR12 : Modèle mécanique 1D poutre C

Question 3.20



DR13 : Étude des actions mécaniques sur le robot en phase de descente

Questions 4.7 – 4.8

