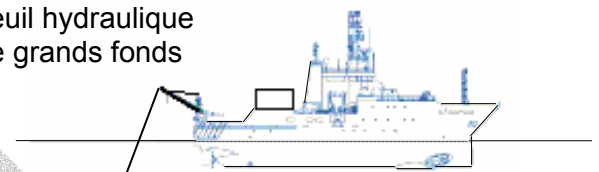


CAHIER QUESTIONS-RÉPONSES PARTIE A

ÉTUDE MÉCANIQUE

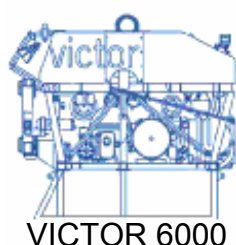
TREUIL HYDRAULIQUE DE GRANDS FONDS ENROULEMENT DE L'OMBILICAL DU VICTOR 6000

Treuil hydraulique de grands fonds



- A1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'ENROULEMENT
- A2. ÉTUDE FONCTIONNELLE DE L'ENROULEMENT
- A3. ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE DE L'ENROULEMENT
- A4. ÉTUDE DE LA MOTORISATION DE L'ENROULEMENT
- A5. ÉTUDE DU TRANCANAGE DE L'ENROULEMENT

Câble ombilical électro-porteur de 9 000 m



VICTOR 6000

Laisse de 300 m

Lest dépresseur

Ce cahier questions-réponses partie A contient 11 pages numérotées QA1 à QA11 Répondre aux emplacements réservés.

A1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'ENROULEMENT :

Les spécifications et caractéristiques présentées sont relatives à un treuil hydraulique de grands fonds destiné à piloter avec un câble ombilical électro-porteur de 9 000 m, un lest dépresseur auquel est associé, par l'intermédiaire d'une laisse de 300 m, le véhicule sous-marin VICTOR 6000. (Voir mise en situation page QA1 et schéma cinématique simplifié page QA4).

A1.1. Conditions d'utilisation :

Le VICTOR 6000 est prévu pour être employé 240 jours par an à la mer.

Schéma d'utilisation pour un cycle court :

- Préparation et mise à l'eau : 1 heure
- Descente : inférieure à 2 heures 30 minutes
- Remontée en conditions normales : inférieure à 2 heures 30 minutes
- Remontée en conditions exceptionnelles : inférieure à 1 heure 15 minutes
- Reconditionnement : 1 heure

Un arrêt technique est prévu tous les 5 mois d'utilisation. Au bout de 5 ans d'activité le système doit subir un grand carénage.

A1.2. Tambour d'enroulement :

Le tambour, en acier mécano-soudé, est caractérisé par les éléments suivants :

- Un cylindre d'enroulement de diamètre $d_i = 1\ 155$ mm
- Deux flasques de diamètre extérieur $d_e = 1\ 985$ mm
- Une largeur entre flasques $b = 2\ 750$ mm
- Une jante pour frein à bande, usinée sur chaque flasque

A1.3. Câble ombilical électro-porteur :

- Diamètre du câble : $d = 20,7$ mm
- Longueur enroulée : $L = 9\ 000$ m
- Masse linéique dans l'air : $1\ 395$ kg/km

A1.4. Motorisation :

La puissance est fournie par deux moteurs électriques de 150 KW qui entraînent deux pompes hydrauliques.

Pour un fonctionnement du treuil en conditions exceptionnelles on utilise les deux pompes qui alimentent deux moteurs hydrauliques. En conditions normales une seule pompe alimente les deux moteurs hydrauliques.

L'entraînement du tambour est réalisé par les deux moteurs hydrauliques accouplés à deux réducteurs à renvoi d'angle. En sortie des réducteurs deux pignons engrènent sur une même roue dentée liée au tambour.

A1.4.1. Moteurs hydrauliques :

- Marque : VOLVO, type F11 150
- Cylindrée fixe : 150 cm^3 , pression maxi : 42 Mpa
- Fréquence de rotation maxi : 3 000 tr/min
- Fréquence de rotation moyenne :
 - conditions normales : $N_{mn} = 1\ 400$ tr/min
 - conditions exceptionnelles : $N_{me} = 2\ 000$ tr/min

A1.4.2. Réducteurs :

- Marque : TRANSMITAL, type B 311-2 AX
- Réducteur épicycloïdal avec renvoi d'angle à 90°
- Rapport de réduction : $k = 1/22,7$

A1.4.3. Engrenages :

- Roue dentée du tambour : $Z_R = 86$ dents, module $m = 12$
- Pignons de sortie des réducteurs : $Z_P = 27$ dents

A1.5. Dispositif de trancanage :

Le dispositif de trancanage est un guide-câble automatique qui assure un bon rangement et un bon enroulement du câble sur le tambour.

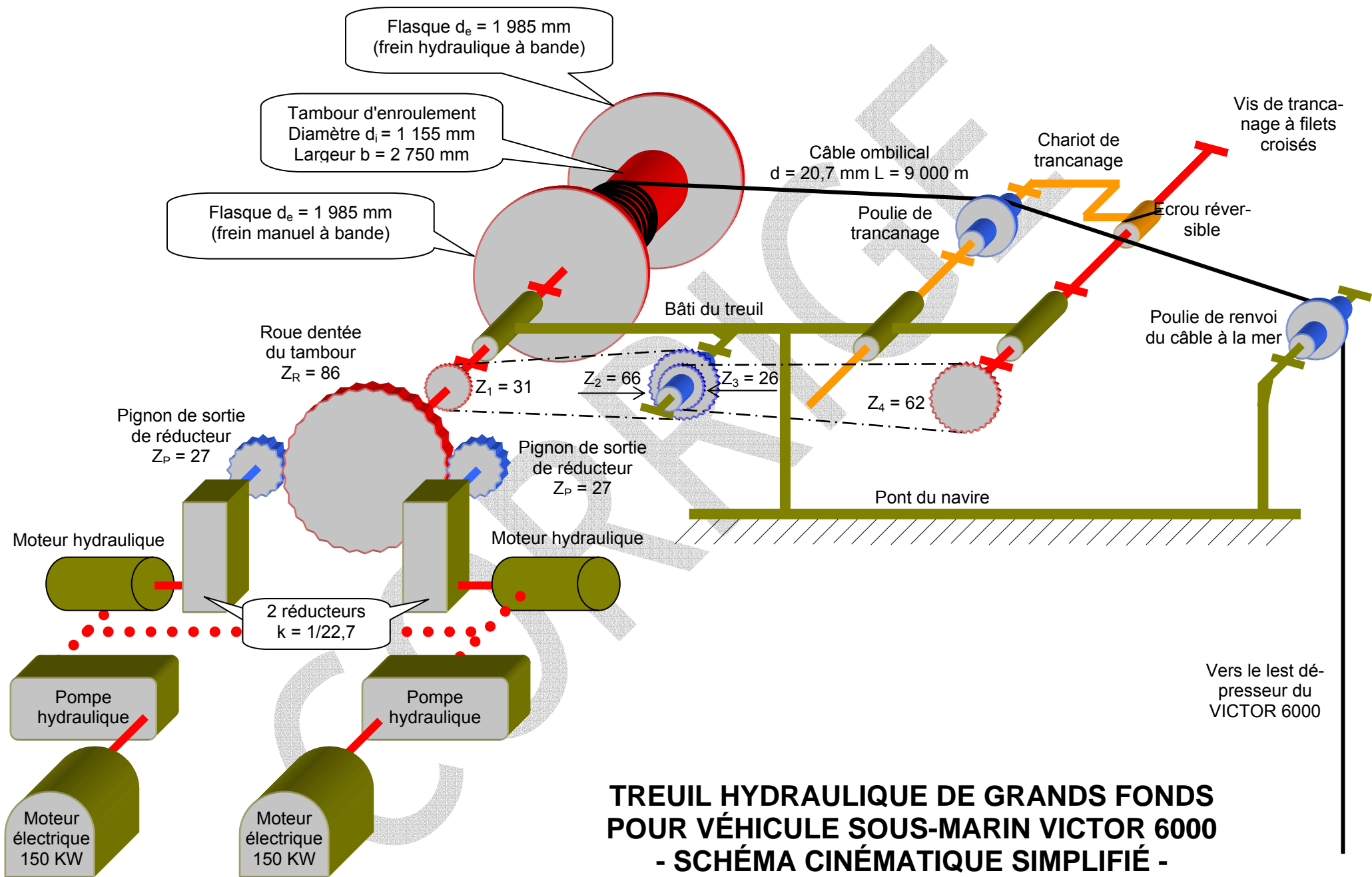
Le chariot de trancanage mécano-soudé, est équipé d'une poulie de trancanage avec gorge guide-câble. Il se déplace devant le tambour et accompagne tous les mouvements d'enroulement et de déroulement du câble.

L'entraînement du chariot est réalisé par l'intermédiaire d'une vis à filets croisés (une hélice à gauche et une hélice à droite taillées sur la même vis) et d'un écrou en bronze, automatiquement réversible à chaque butée de fin de course.

L'entraînement en rotation de la vis à filets croisés est réalisé par l'arbre du tambour de treuil à l'aide d'un ensemble composé de quatre pignons $Z_1 = 31$ dents et $Z_2 = 66$ dents d'une part, $Z_3 = 26$ dents et $Z_4 = 62$ dents d'autre part et de deux chaînes.

Devant la poulie de trancanage, un dispositif (non schématisé) de rouleaux guide-câble autorise :

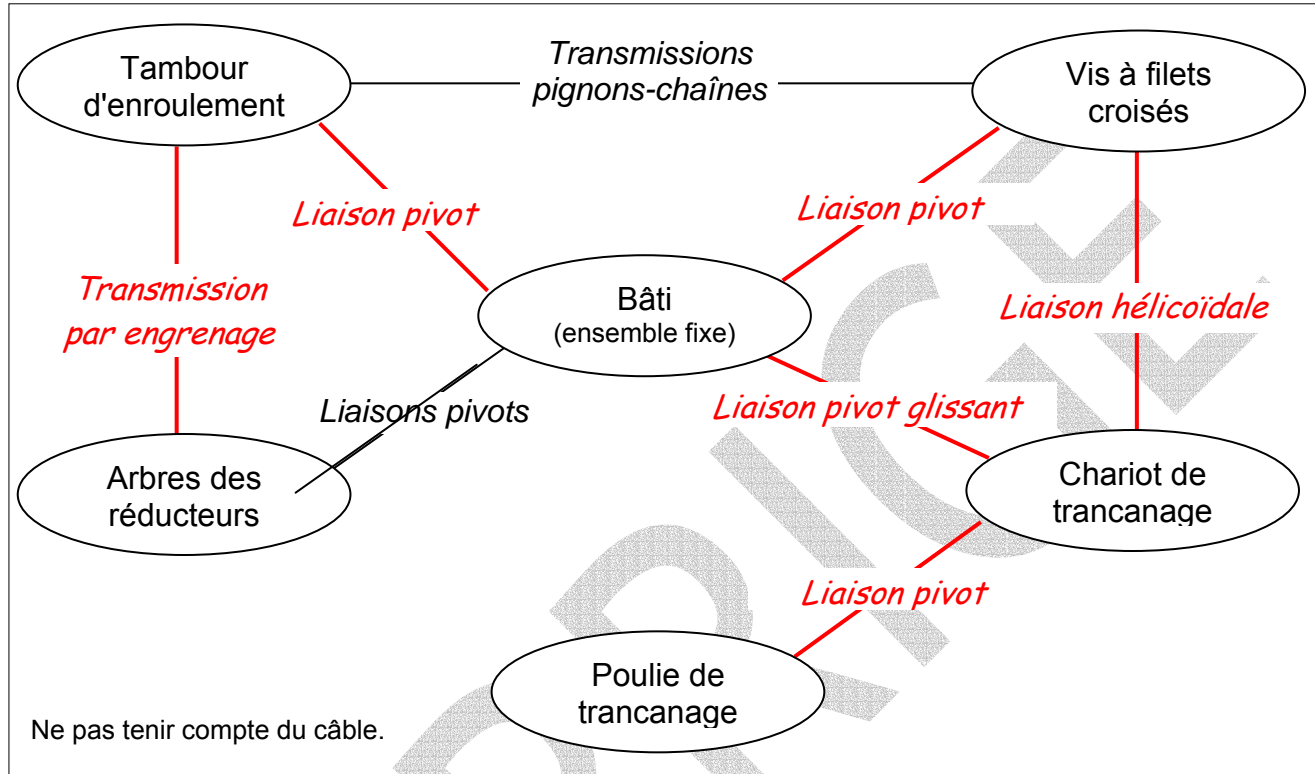
- une variation de hauteur du point de renvoi du câble à la mer.
- un désalignement du câble par rapport au point de renvoi du câble à la mer.



A2. ÉTUDE FONCTIONNELLE DE L'ENROULEMENT :

Objectif : identifier les fonctions mises en œuvre dans la chaîne cinématique.

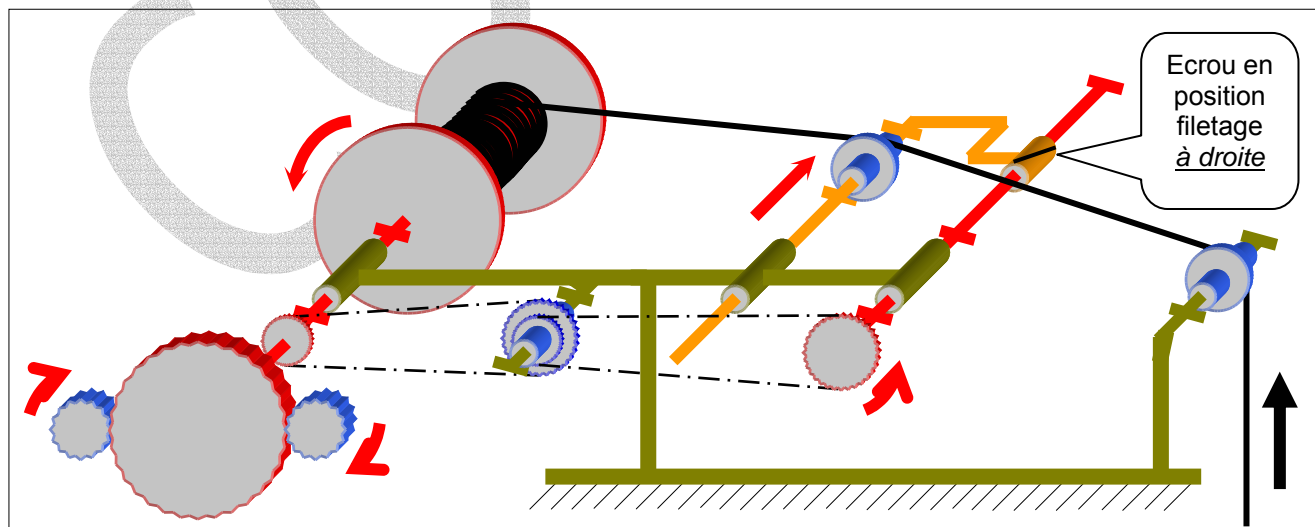
A2.1. Compléter le graphe de structure en indiquant le nom des liaisons et des transmissions entre les différents sous-ensembles cinématiques donnés.



A2.2. Dans les conditions de fonctionnement suivantes :

- sortie du câble de la mer
- filet à droite en prise entre l'écrou réversible et la vis à filets croisés

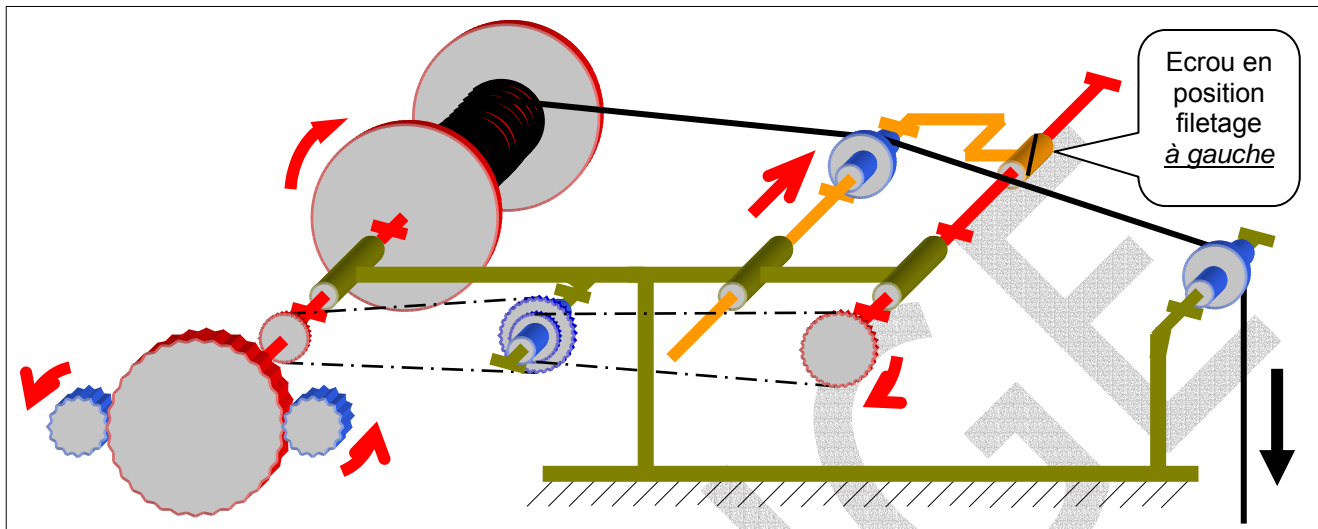
Compléter le fléchage du sens des mouvements du tambour, des pignons des réducteurs, de la vis à filets croisés et du chariot de trancanage.



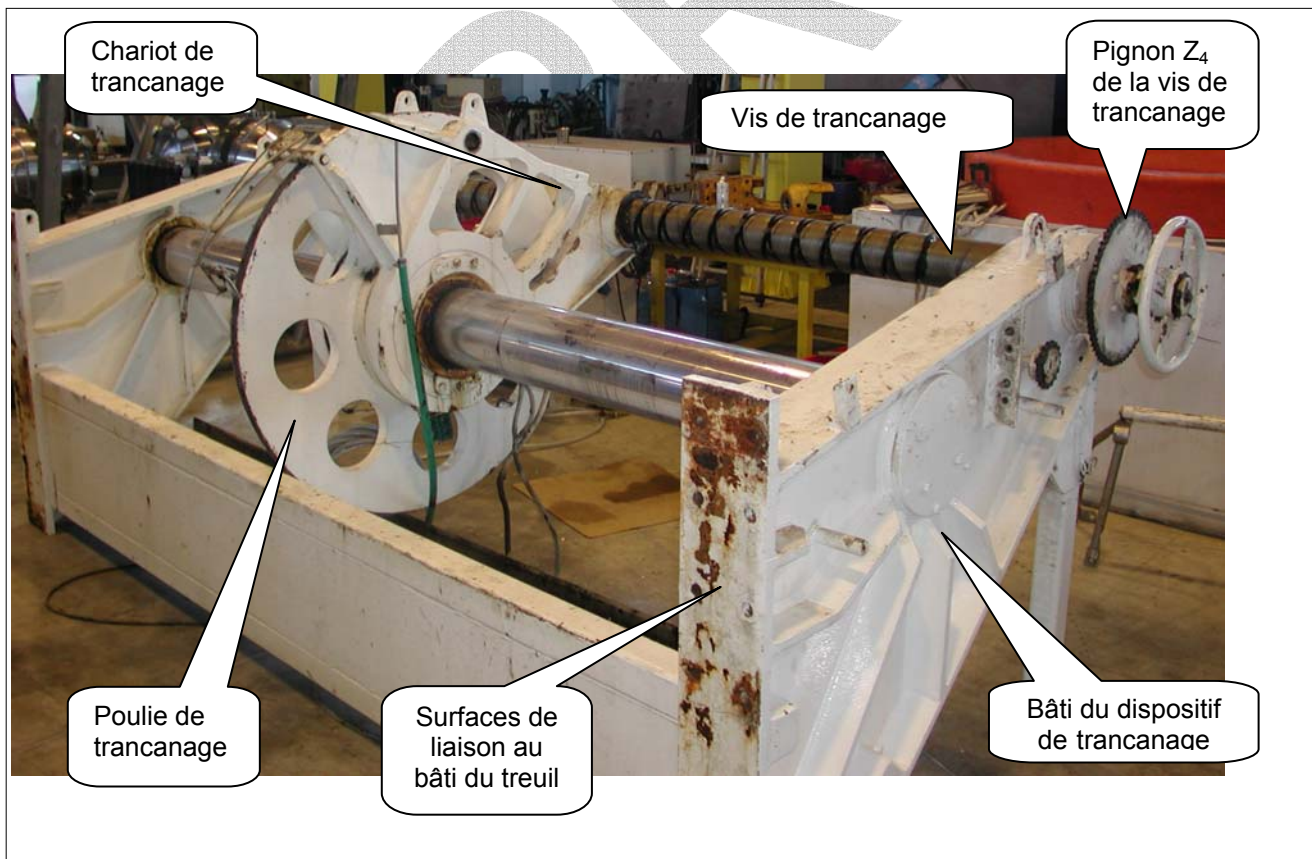
A2.3. Dans les conditions de fonctionnement suivantes :

- envoi du câble à la mer
- filet à gauche en prise entre l'écrou réversible et la vis à filets croisés

Compléter le fléchage du sens des mouvements du tambour, des pignons des réducteurs, de la vis à filets croisés et du chariot de trancanage.

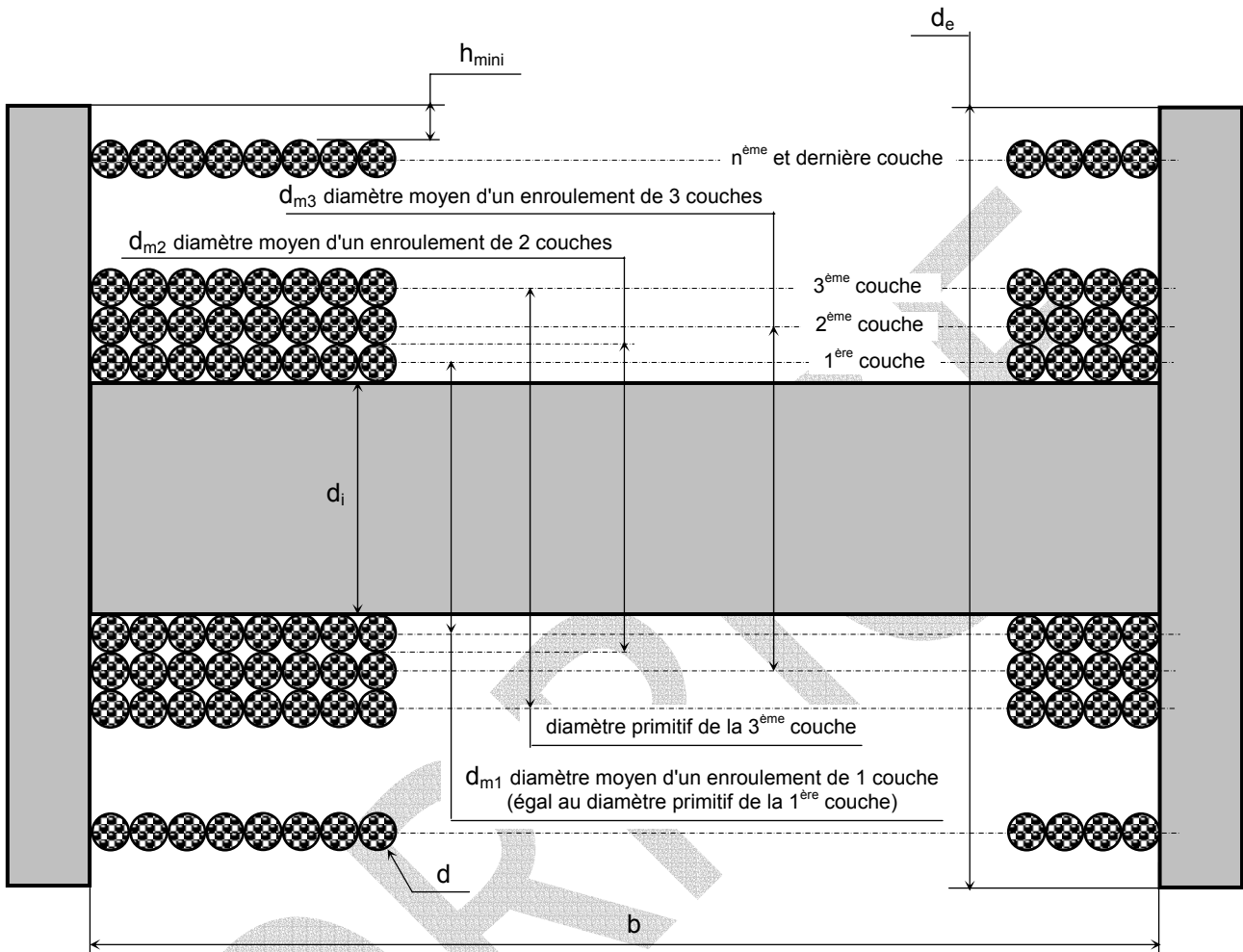


A2.4. A partir du schéma cinématique, page QA4, identifier les quatre pièces repérées sur la photo ci-dessous du dispositif de trancanage démonté et inscrire leur désignation dans les cases correspondantes :



A3. ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE DE L'ENROULEMENT :

Objectif : vérifier la compatibilité des dimensions du tambour et du câble (condition h_{mini}).



Le dispositif de trancanage assure un enroulement à spires jointives du câble électro-porteur.

Pour permettre la mise en place d'une enveloppe de protection du câble en phase transport ou stockage (enveloppe en bois), il est nécessaire que l'enroulement complet du câble réserve par rapport aux flasques du tambour une condition h_{mini} , comme indiqué ci-dessus.

A3.1. La première ligne du tableau ci-après, présente différents niveaux d'enroulement du câble, caractérisés par le nombre de couches enroulées.

Donner pour chaque cas les expressions littérales :

- du diamètre moyen de l'enroulement en fonction de d , d_i et du nombre de couches enroulées
- du nombre de spires enroulées en fonction de b et d et du nombre de couches enroulées
- de la longueur de câble enroulé en fonction de b , d , d_i et du nombre de couches enroulées

Nombre de couches de l'enroulement	1 couche enroulée	2 couches enroulées	3 couches enroulées	n couches enroulées
Diamètre moyen de l'enroulement	$d_{m1} = d_i + d$	$d_{m2} = d_i + 2d$	$d_{m3} = d_i + 3d$	$d_{mn} = d_i + nd$
Nombre de spires enroulées	b/d	$2 b/d$	$3 b/d$	$n b/d$
Longueur de câble enroulé	$L_1 = (b/d) \pi(d_i+d)$	$L_2 = 2(b/d) \pi(d_i+2d)$	$L_3 = 3(b/d) \pi(d_i+3d)$	$L_n = n(b/d) \pi(d_i+nd)$

A3.2. Application numérique : calculer le nombre de couches n correspondant à l'enroulement de la longueur $L = 9\ 000\text{ m}$ du câble ombilical :

$$L_n = n (b / d) \pi (d_i + nd)$$

$$L = \pi n b [n + (d_i / d)]$$

$$9\ 000\ 000 = \pi n 2\ 750 [n + (1\ 155 / 20,7)]$$

$$n^2 + 55,8 n - 1\ 041,7 = 0 \quad n > 0$$

$$n = 14,8 \text{ couches}$$

A3.3. La valeur de la condition h_{mini} est fixée à 100 mm sur toute la largeur b du tambour. Vérifier la compatibilité des dimensions du tambour avec cette condition :

$$n = 15 \text{ couches}$$

$$\text{Rayon maxi de l'enroulement : } R_{\text{max}} = (d_i / 2) + (15 \times d)$$

$$R_{\text{max}} = (1\ 155 / 2) + (15 \times 20,7) = 888 \text{ mm}$$

$$\text{Réserve : } h = (d_e / 2) - R_{\text{max}} = (1\ 985 / 2) - 888$$

$$h = 104,5 \text{ mm donc } h > 100 \text{ mm}$$

A4. ÉTUDE DE LA MOTORISATION DE L'ENROULEMENT :

Objectifs : vérifier le temps nécessaire et la puissance à fournir pour enrouler le câble en conditions exceptionnelles.

On considère pour cette étude que les 9 000 m de câble s'enroulent sur 15 couches complètes.

A4.1. Calculer le nombre de tours n_t que doit effectuer le tambour pour enrouler les 9 000 m de câble :

$$\text{nombre de spires par couche} = b / d \quad (15 \text{ couches})$$

$$\text{nombre de tours du tambour } n_t = \text{nombre total de spires}$$

$$n_t = 15 (b / d)$$

$$n_t = 15 (2\ 750 / 20,7)$$

$$n_t = 1\ 992,8 \text{ tr}$$

A4.2. Calculer le rapport de réduction global K entre les moteurs hydrauliques et le tambour de treuil :

$$K = k (Z_p / Z_R)$$

$$K = (1 / 22,7) \times (27 / 86)$$

$$K = 1 / 72,3$$

$$K = 0,01383$$

A4.3. Calculer la fréquence de rotation moyenne N_{te} du tambour dans le cas d'une remontée du câble en conditions exceptionnelles :

Rappel : la fréquence de rotation moyenne des moteurs hydrauliques en conditions exceptionnelles est $N_{me} = 2\ 000 \text{ tr/min}$ (§ A1.4.1 page QA3).

$$K = N_{te} / N_{me} \quad \text{avec } N_{me} = 2\ 000 \text{ tr/min}$$

$$N_{te} = (1 / 72,3) \times 2\ 000$$

$$N_{te} = 27,7 \text{ tr/min}$$

A4.4. Calculer le temps T nécessaire pour remonter les 9 000 m de câble en conditions exceptionnelles. Ce temps respecte-t-il les spécifications du treuil ?

Rappel : remontée en conditions exceptionnelles inférieure à 1 h 15 min (§ A1.1 page QA2).

$$T = n_t / N_{te} \quad \text{avec } n_t = 1\ 992,8 \text{ tr et } N_{te} = 27,7 \text{ tr/min}$$

$$T = 1\ 992,8 / 27,7$$

$$T = 71,9 \text{ min}$$

$$T = 1 \text{ heure } 12 \text{ min} \quad T < 1 \text{ heure } 15 \text{ min}$$

A4.5. Calculer, en appliquant le théorème d'Archimède, la masse des 9 000 m de câble dans l'eau de mer en prenant pour celle-ci une densité de 1,027 :

Rappel : diamètre du câble : 20,7 mm, masse linéique du câble dans l'air : 1 395 kg/km (§ A1.3 page QA2).

M_g = poids du câble dans l'air - poids de l'eau déplacée

$$M_g = (1\,395 \text{ g} \times 9) - (\pi \times 0,207^2 / 4) \times 90\,000 \times 1,027 \text{ g}$$

$$M = 9\,444 \text{ kg}$$

A4.6. Quels que soient les résultats précédents, on se place dans les conditions exceptionnelles d'enroulement suivantes :

- masse totale à remonter : 10 tonnes en régime établi
- diamètre primitif de l'enroulement du câble sur le tambour : 1,2 m
- fréquence de rotation du tambour : 25 tr/min

Calculer la puissance nécessaire sur le tambour. Commenter ce résultat.

Couple nécessaire sur le tambour : ($C = T \times R$)

$$C_t = 100\,000 \times 1,2/2 = 60\,000 \text{ Nm}$$

Puissance nécessaire sur le tambour : ($P = C \times \omega$)

$$P_t = 60\,000 \times (\pi \times 25 / 30) = 157\,080 \text{ W}$$

Motorisation en conditions exceptionnelles : 2 moteurs de 150 kW (coefficient de sécurité de 2)

A5. ÉTUDE DU TRANCANAGE DE L'ENROULEMENT :

Objectif : établir la relation entre le pas de la vis de trancanage et le diamètre du câble.

A5.1. Donner l'expression littérale de la vitesse V_c de déplacement du chariot de trancanage en fonction de la fréquence de rotation N_t du tambour et du pas p_t de l'enroulement du câble à spires jointives :

$$V_c = N_t \times p_t$$

A5.2. Donner l'expression littérale de la vitesse V_c de déplacement du chariot de trancanage en fonction de la fréquence de rotation N_v et du pas p_v de la vis de trancanage :

$$V_c = N_v \times p_v$$

A5.3. Établir la relation littérale entre le pas p_v de la vis de trancanage et le pas p_t de l'enroulement du câble à spires jointives :

$$N_t \times p_t = N_v \times p_v$$

$$p_v = N_t \times p_t / N_v$$

A5.4. Donner l'expression littérale du pas p_t de l'enroulement du câble à spires jointives sur le tambour :

$$p_t = d$$

A5.5. Établir la relation littérale entre la fréquence de rotation N_v de la vis de trancanage et la fréquence de rotation N_t du tambour :

$$N_v = N_t (Z_1 Z_3 / Z_2 Z_4)$$

5.6. Dédurre des relations précédentes l'expression littérale du pas p_v de la vis de trancanage en fonction du diamètre du câble d et des nombres de dents Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 des pignons de chaînes :

$$p_v = d (Z_2 Z_4 / Z_1 Z_3)$$

A5.7. Application numérique : calculer le pas p_v de la vis de trancanage à filets croisés :

$$p_v = (20,7 \times 66 \times 62) / (31 \times 26)$$

$$p_v = 105 \text{ mm}$$

A5.8. On souhaite adapter le treuil, équipé de la même vis de trancanage pour enrouler à spires jointives un câble de diamètre 22,1 mm. Déterminer le nombre de dents Z'_4 du nouveau pignon à installer à l'extrémité de la vis de trancanage :

$$105 = (22,1 \times 66 \times Z'_4) / (31 \times 26)$$

$$Z'_4 = 58 \text{ dents}$$

CORRIGÉ

CAHIER QUESTIONS-RÉPONSES PARTIE B

ÉTUDE DES ÉNERGIES

Distribution de l'énergie à bord du navire

Étude du câble électro-porteur



Ce cahier questions-réponses partie B contient 7 pages numérotées QB1 à QB7, un document B1 à compléter et une annexe B2
Répondre aux emplacements réservés.

B1. ÉNERGIE DU BORD :

On ne s'intéresse, dans cette partie, qu'à la distribution de l'énergie du navire.

Le document B1 fait apparaître le schéma de la distribution électrique du navire et du système VICTOR 6000 qui a été embarqué à bord.

Dans le domaine maritime, la coque métallique du navire fait office de « masse » reliée à la mer, ce que l'on considère généralement comme étant la « terre » du point de vue de la sécurité des personnes.

Voici quelques extraits de la norme NF C 15-100 :

- Prise de terre : corps conducteur enterré, ou ensemble de corps conducteurs enterrés et interconnectés, assurant une liaison électrique avec la terre (ou coque du navire),
- Terre : masse conductrice de la terre (coque du navire), dont le potentiel électrique en chaque point est considéré comme égal à zéro (référence théorique),
- Conducteur de terre : conducteur de protection reliant la borne principale de terre à la prise de terre (coque du navire).

B1.1. *À partir du schéma de la distribution électrique, document B1, relever les caractéristiques de l'alimentation du navire.*

3 x 380 volts alternatifs 50 Hz. 2 fois 1 000 KVA

B1.2. *D'après le schéma, indiquer quel est le schéma des liaisons à la terre (SLT) à bord du navire.*

Schéma IT

B1.3. *Pour ce schéma SLT, donner le nom et la référence de l'élément qui lui est associé et expliquer son rôle.*

Schéma IT CPI + impédance entre neutre et terre ref: TR22A

B1.4. *Nommer l'élément qui ne figure pas sur ce schéma SLT. Justifier son absence.*

Le limiteur de surtension n'existe pas ici (pas de HT)

B1.5. *Donner l'avantage qui justifie l'emploi de ce schéma des liaisons à la terre.*

IT: avantage : continuité de service.

B2. ÉNERGIE DU SYSTÈME VICTOR :

Le système VICTOR 6000 dispose de son propre TGBT protégé par un disjoncteur DJ2. Ce TGBT comporte un départ pour alimenter le câble électro-porteur, deux départs identiques pour alimenter les moteurs des groupes hydrauliques et un départ vers les équipements annexes tels que la climatisation, l'éclairage, etc.

B2.1. *Donner le rôle du transformateur T1. Justifier clairement votre réponse.*

Changement de régime de neutre, passage en TT pour la sécurité des personnes. Le neutre est mis à la terre et on trouve un DDR sur le départ. Le neutre est distribué car on a besoin (voir sujet) des tensions de 220V et de 380V.

B2.2. On rappelle que le câble est alimenté en 2 000 V, qu'il a une longueur de 9 000 m et qu'il peut être immergé ou enroulé sur le treuil à bord du navire. Il va de soi qu'un défaut du câble doit être impérativement détecté et signalé.

B2.2.1 *Indiquer la solution technique qui a été adoptée pour détecter un défaut du câble. Donner la référence de l'appareil qui assure cette fonction.*

Emploi d'un "Vigilohm®", ref. : THR22

B2.3. En utilisant la présentation du VICTOR 6000, effectuer le bilan des puissances nécessaires pour alimenter le système embarqué en complétant le schéma de la distribution du navire (document B1).

B2.4. On considère que le rendement du convertisseur est de 0,90 et que celui du transformateur T2 est de 0,95.

B2.4.1 Calculer la puissance fournie au départ du câble.

$$50\text{KVA} \times 0,9 \times 0,95 = 42,75 \text{ KVA}$$

B3. COMPOSITION DU CÂBLE :

Le véhicule est alimenté depuis la surface par une source triphasée de 2 000 V 400 Hz et par un câble électro-porteur de 9 000 m de longueur.

Le câble devant subir des cycles d'enroulement/déroulement, les conducteurs de phase, pour une plus grande souplesse, sont fractionnés et multibrins.

Les caractéristiques du câble sont données dans l'annexe B2.

B3.1. Calculer le poids du câble totalement immergé dans l'eau de mer.

$$1\ 085 \times 9 = 9\ 765 \text{ Kgf} = 97\ 650 \text{ N}$$

B3.2. Donner la résistance mécanique du câble (effort), extrémités fixées.

$$24\ 200 \text{ daN}$$

B3.3. Calculer la section de cuivre d'une phase.

$$S = 19 \times \pi \times 0,442/4 \times 2 = 5,778 \text{ mm}^2$$

B3.4. Calculer la résistance d'une phase (on prendra $\rho = 20 \times 10^{-3} \Omega\text{mm}^2/\text{m}$). Vérifier votre calcul avec les données constructeur.

$$20 \times 9 / 5,778 = 31,15 \text{ Ohms}$$

$$6,5 \times 9 / 2 = 29,25 \text{ Ohms}$$

B4. ALIMENTATION DU VICTOR 6000 :

En bout de câble, un transformateur abaisseur et un redressement filtré permettent d'obtenir un BUS continu de 250 V.

B4.1. Donner les avantages d'une alimentation en 2 000 V par rapport à une tension usuelle de 400 V.

Courant en ligne plus faible donc pertes plus faibles et chute de tension plus faible.

B4.2. Donner les inconvénients d'utiliser une tension élevée.

Épaisseurs des diélectriques. Isolement entre conducteurs. Pb de sécurité

B4.3. Donner les avantages liés à l'utilisation d'une fréquence de 400 Hz (utilisée aussi dans l'aéronautique) par rapport à une fréquence de 50 Hz :

B4.3.1 Pour le redressement.

Fréquence de l'ondulation réduite, filtrage + facile.

B4.3.2 Pour les transformateurs.

Encombrement réduit, poids réduit

B4.4. Donner les inconvénients dus à une fréquence élevée.

B4.4.1 Pour le câble.

Réactance élevée ($L\omega$) => chute de tension élevée.

B4.4.2 Pour les matériaux ferromagnétiques.

Pertes fer élevées.

B4.5. On prendra comme puissance fournie en surface au câble $P = 40$ kVA.

B4.5.1 Calculer le courant nominal en ligne.

$$P = \sqrt{3}UI \text{ donc } I = 40\,000 / \sqrt{3}U \text{ AN : } I = 11,5 \text{ A}$$

B4.6. On désire évaluer l'influence du câble seul dans le transport de l'énergie au niveau de la chute de tension.

B4.6.1 En prenant pour inductance par phase $0,3$ mH/km et pour résistance par phase 30Ω (la capacité du câble est négligée), déterminer la valeur de la chute de tension par phase.

On prendra $\cos\varphi = 0,85$. On rappelle la formule approchée de la chute de tension pour une phase : $\Delta U = \sqrt{3}IB(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$

$$\Delta U = \sqrt{3}IB(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 11,5 (30 \times 0,85 + 0,3 \cdot 10^{-3} \times 9,2 \times \pi \times 400 \times 0,527) = 579,15 \text{ V}$$

B4.6.2 Calculer la chute de tension relative pour une phase en %.

$$\Delta U/U = 579,15 / 2\,000 \times 100 = 29\%$$

B5. DÉTERMINATION DU CÂBLE DANS LE CAS D'UNE ALIMENTATION INDUSTRIELLE :

Pour justifier l'emploi d'une tension de $2\,000$ V, on étudie la solution qui consisterait à utiliser directement la distribution du navire, c'est-à-dire une alimentation 3×380 V 50 Hz.

La puissance utile en bout de câble est $P_u = 20$ kW avec $\cos\varphi = 0,85$.

B5.1. Calculer le courant d'emploi I_B .

$$I_B = 20\,000 / \sqrt{3} \times 380 \times 0,85 = 35,75 \text{ A}$$

B5.2. La section du câble est déterminée habituellement en fonction des échauffements après le calcul d'un courant équivalent $I'z = I_a/k$ où k est un coefficient correcteur qui dépend entre autres du mode de pose du câble.

B5.2.1 Expliquer pourquoi cette méthode de détermination n'est pas adaptée dans notre application.

Cas particulier car câble dans l'eau, échauffement limité.

B5.3. On détermine la section de conducteurs de phase par la chute de tension admissible.

On rappelle la formule approchée de la chute de tension pour une phase :

$$\Delta U = \sqrt{3}IB(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

On prendra une inductance par phase $L = 0,3$ mH/km

B5.3.1 Calculer la résistance que doit avoir un conducteur de phase pour une chute de tension que l'on admettra pour cette application particulière de 15% .

$$R = 0,557 \Omega$$

B5.4. On admettra pour le câble une température de fonctionnement de 20 °C.

La résistivité du cuivre est donnée par la relation :

$$\rho_{20} = \rho_0 (1 + \alpha T) \text{ avec } \rho_0 = 17,6 \text{ m}\Omega\text{mm}^2/\text{m} \text{ et } \alpha = 4 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$$

B5.4.1 Calculer la section d'un conducteur de phase.

$$\rho_{20} = \rho_0 (1 + \alpha T) = 19 \text{ m}\Omega\text{.mm}^2/\text{m}$$

$$S = 307 \text{ mm}^2$$

B5.4.2 Conclure sur le choix d'une tension de 2 000 V.

En 400 V le poids du câble est prohibitif, sa rigidité également.

CORRIGÉ

DOCUMENT B1

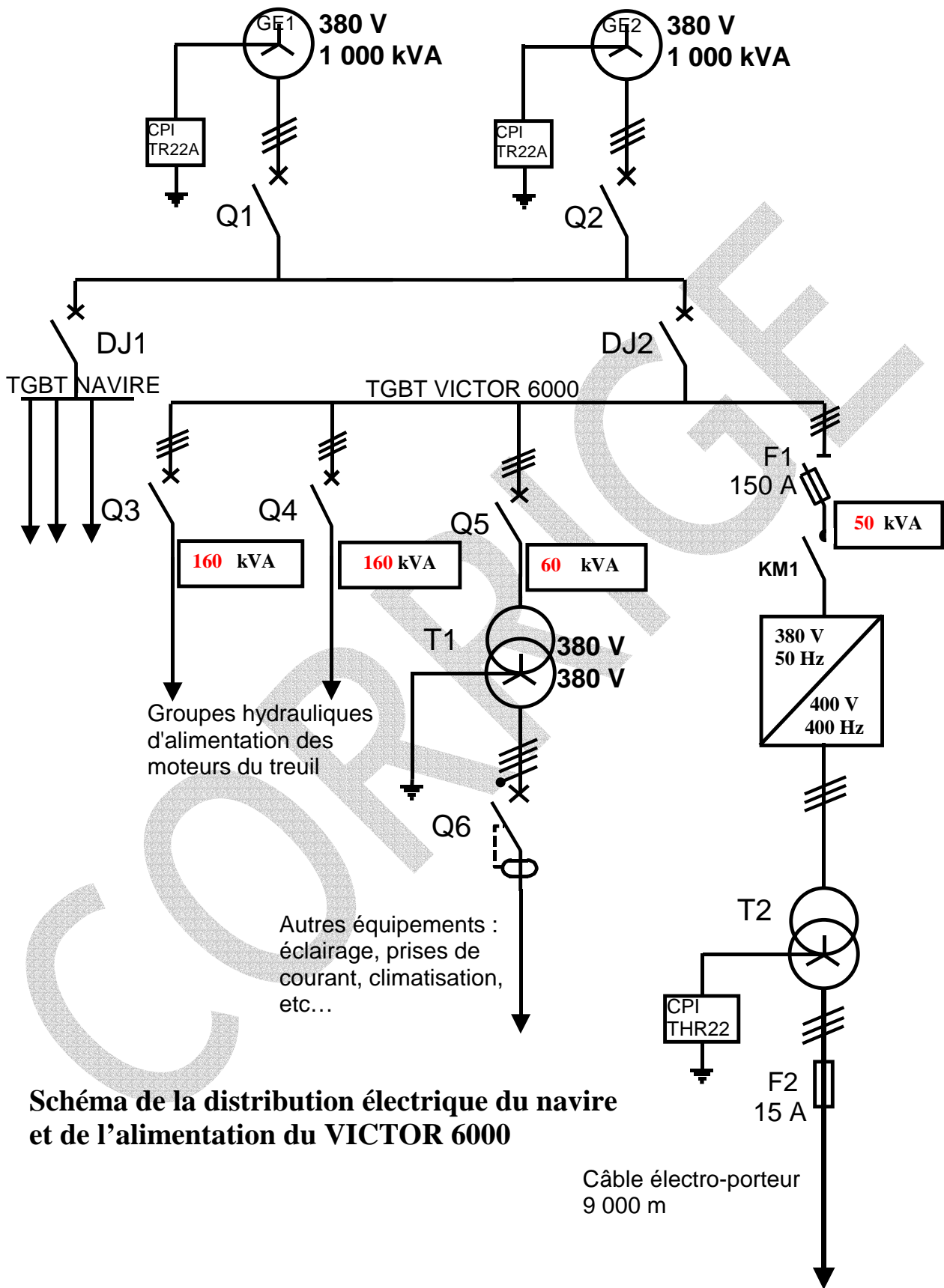


Schéma de la distribution électrique du navire et de l'alimentation du VICTOR 6000

CAHIER QUESTIONS-RÉPONSES PARTIE C

ÉTUDE DE LA PROPULSION

Motorisation du VICTOR 6000



- C1. JUSTIFICATION DU TYPE DE MOTEUR UTILISÉ.
- C2. CONSTITUTION DES MOTEURS UTILISÉS.
- C3. ÉTANCHEITÉ DES MOTEURS.
- C4. CARACTÉRISTIQUES D'UTILISATION DES MOTEURS.
- C5. REFROIDISSEMENT DES MOTEURS.
- C6. POUSSÉE DE L'HÉLICE.
- C7. VARIATEUR DE VITESSE.

Ce cahier questions-réponses partie C contient 8 pages numérotées QC1 à QC8 et trois documents annexes notés ANNEXE C1, ANNEXE C2 et ANNEXE C3

Répondre aux emplacements réservés

Les déplacements du VICTOR 6000 sont assurés par un ensemble de 6 propulseurs non orientables placés sur le véhicule.

Les mouvements sont contrôlés par la gestion simultanée des vitesses et des sens de rotation des propulseurs.

Des moteurs asynchrones triphasés associés à des variateurs de type MLI entraînent directement les hélices (pas de réducteur).

Les variateurs sont alimentés par un BUS continu de 250 V obtenu par abaissement, redressement et filtrage de la tension acheminée par le câble.

Caractéristiques électriques des moteurs :

puissance utile	5 000 W
tension nominale	230 V - triphasée - 50 Hz
vitesse nominale	1 420 tr/min
rendement nominal	84 %

Caractéristiques mécaniques des moteurs :

Les moteurs sont remplis d'huile et placés en équipression : la pression dans les moteurs est sensiblement la même que celle du milieu ambiant.

Composition et dimensions : voir annexe C1

Caractéristiques des variateurs :

Les variateurs sont des variateurs industriels reconditionnés pour minimiser leur encombrement et pour être alimentés avec une source continue. Voir annexe C3.

Ils sont placés dans des enceintes pressurisées.

Cette étude va permettre de justifier l'emploi de ce type de moteur et variateur associé.

C.1. JUSTIFICATION DU TYPE DE MOTEUR UTILISÉ :

Le choix des moteurs s'est porté sur des moteurs asynchrones plutôt que des moteurs à courant continu. Justifier ce choix en comparant les avantages et les inconvénients de ces deux moteurs :

C1.1. Au niveau de la constitution mécanique et électrique.

Moteur asynchrone plus simple et plus robuste :

- pas de collecteur
- si rotor à cage pas d'enroulement tournant
- alimentation directe possible sur le réseau

C1.2. Au niveau du démarrage.

- démarreur obligatoire pour MCC sauf en petite puissance
- démarrage des MAS direct possible $I_d \approx 7 I_n$
- couple très grand au démarrage pour MCC
- couple $C_d \approx 3 C_n$ pour MAS

C1.3. *Au niveau de la variation de vitesse.*

- pour MCC variation simple par variation de la tension d'alimentation
- pour MAS variation par variation de la vitesse de synchronisme (fréquence, nb de pôles).
- ou par glissement mais pertes importantes (variation de la tension d'alimentation mais couple max pas toujours disponible, ou variation de la résistance du rotor).

C1.4. *Au niveau des variateurs associés.*

- variateurs simples pour MCC : redresseur commandé ou redresseur + hacheur
- contrôles simples dans les 4 quadrants avec pont en H
- variateurs pour MAS simples si peu d'exigences (gradateurs...).
- variateurs complexes si variation de fréquence, contrôle vectoriel...

C.2. CONSTITUTION DES MOTEURS UTILISÉS :

L'annexe C1 représente une coupe de propulseur : moteur, hélice, tuyère.

C2.1. *Donner les repères ou intitulés des éléments suivants :*

- stator du moteur : A
- rotor et arbre du moteur : 1
- carcasse du moteur : 2,15
- flasques du moteur : 6 et 3,14
- roulements : J et L
- hélice : AD
- clavette de liaison arbre/hélice : 19

C.3. ÉTANCHÉITÉ DES MOTEURS :

Le VICTOR 6000 évolue à des profondeurs pouvant atteindre 6 000 m.

Les moteurs, remplis d'huile, fonctionnent en équipression. Pour améliorer le système, une légère surpression sera créée dans le moteur (2 kpa ou 0,2 bar).

C3.1. *Donner approximativement la pression à 6 000 m de profondeur.*

- 6 000 m \approx 600 kg/cm² sachant que 10 m de colonne d'eau \approx 1 kg/cm² \approx 1 bar \approx 1 000 hPa

C3.2. *Indiquer quel est le principe et l'intérêt de l'équipression.*

- Même pression dans le moteur que la pression du milieu d'où étanchéité simplifiée...
- Pas de joint spécifique
- Très grandes profondeurs possibles

C3.3. *Citer toutes les fonctions de l'huile dans le moteur.*

- Non compressible, permet l'équipression.
- Diélectrique.
- Améliore le refroidissement.

C3.4. A l'aide de l'annexe C1, donner les repères ou intitulés d'éléments permettant l'étanchéité du moteur.

Joint tournant (garniture) : D

Joints de flasques : E, B et M

C3.5. Un piston (repère 8) coulisse dans l'embout (repère 4) auquel il est relié par une membrane souple et étanche (repère 16,N).

C3.5.1. Préciser le rôle de la membrane.

- L'élasticité de la membrane permet de compenser les variations de volume de l'huile
- Son étanchéité empêche l'huile de sortir ou l'eau de rentrer.

C3.5.2. Indiquer comment est réalisée la surpression dans le moteur.

- Le ressort (repère P) exerce une poussée sur le piston (repère 8).
- Le piston et la membrane mettent en pression l'huile contenue dans le moteur.
- L'élasticité de la membrane permet de compenser les variations de volume de l'huile

C3.5.3. Expliquer quel est l'intérêt de cette surpression.

- Évite une entrée d'eau dans le moteur s'il y a problème d'étanchéité.
- C'est l'huile qui sort du moteur dans ce cas.
- Permet le contrôle de l'étanchéité par contrôle de la position du piston

C.4. CARACTÉRISTIQUES D'UTILISATION DES MOTEURS :

Les moteurs du VICTOR 6000 fonctionnent dans un environnement particulier.

Dans un environnement industriel, une classification permettant de caractériser les moteurs et leur fonctionnement a été mise en place. Expliciter les caractéristiques suivantes :

C4.1. Classe d'échauffement (ex. : classe E).

- définir la gamme de température que peuvent supporter les isolants
- un dépassement de température accélère le vieillissement donc la durée de vie de l'équipement

C4.2. Grandeurs nominales et particulièrement la puissance nominale (ex. : U_n , I_n , P_n).

- le fonctionnement au point nominal correspond à un fonctionnement en régime continu dans des conditions prédéfinies, avec une température stabilisée correspondant à la température maximale que peuvent supporter les isolants selon la classe d'échauffement

C4.3. Service (ex. : S4).

- le service caractérise le fonctionnement du moteur sur une heure :
- nombre de démarrages, temps de travail, temps de repos
- le moteur pourra être déclassé ou surclassé suivant les contraintes imposées

C4.4. Déclassement. Donner un exemple.

- le moteur ne peut fournir sa puissance nominale, sans un échauffement excessif, car les pertes ont augmenté ou les conditions de dissipation sont moins bonnes. La puissance nominale du moteur déclassé devra être supérieure à la puissance utile : fonctionnement en altitude, démarrages fréquents.

C4.5. Surclassement. Donner un exemple.

- le moteur peut fournir une puissance supérieure à sa puissance nominale, car les pertes sont plus faibles ou les conditions de dissipation meilleures. La puissance nominale du moteur surclassé pourra être inférieure à la puissance utile : moteur immergé, moteur de perceuse.

C.5. REFROIDISSEMENT DES MOTEURS :

L'étude portera sur un moteur. En supposant qu'il fonctionne à sa puissance nominale :

C5.1. Calculer les pertes totales P_{tot} perdues dans le moteur.

- $P_a = P_u / \eta = 5\,000 / 0,84 = 5\,952\text{ W}$
- pertes à dissiper $P_{tot} = P_a - P_u$
- $P_{tot} = 952\text{ W}$

C5.2. On admettra que les pertes mécaniques P_m (frottements dans l'huile, roulements...) à la vitesse de rotation nominale sont égales à 450 W.

Calculer les pertes joules rotoriques P_{jr} dans le moteur.

- $P_{em} = P_u + P_m = 5\,450\text{ W}$
- $P_{em} = P_t (1 - g)$ $g = (N_s - N_r) / N_s = 5,33\%$
- $P_{jr} = g P_t = P_{em} \times g / (1 - g) = 307\text{ W}$

C5.3. Calculer le total des autres pertes P_p dans le moteur. Indiquer comment elles se répartissent.

- $P_p = P_{tot} - P_m - P_{jr} = 195\text{ W}$
- pertes fer stator pertes fer rotor très faibles
- pertes joules stator

C5.4. D'après la constitution du moteur, indiquer comment seront dissipées, principalement, les pertes P_{tot} .

- du rotor par conduction dans l'huile
- du stator par conduction dans le fer et dans l'huile
- conduction de l'huile et du fer vers la carcasse puis conduction carcasse vers eau

C5.5. On supposera que les enroulements du moteur ont la même température que l'huile qui les entoure.

On utilisera les données suivantes :

- température de l'eau dans les grandes profondeurs : $\theta_{eau} = 5^\circ\text{C}$
- température de l'air en surface : $\theta_{air} = 20^\circ\text{C}$
- résistance thermique huile/carcasse : $R_{thhc} = 0,03^\circ\text{C/W}$
- résistance thermique carcasse/air : $R_{thca} = 0,4^\circ\text{C/W}$
- résistance thermique carcasse/eau : $R_{thce} = 0,02^\circ\text{C/W}$

C5.5.1. Pour une puissance à dissipée P_{tot} , admise pour cette question à 900 W, calculer la température des enroulements lorsque le moteur fonctionne dans l'eau.

- $\Delta\theta = (R_{thhc} + R_{thce}) \times P_{tot} = 45^\circ\text{C}$
- Température des enroulements = $\theta_{eau} + \Delta\theta = 50^\circ\text{C}$

C5.6. Déterminer par un calcul s'il peut y avoir des contre-indications à ce que le moteur fonctionne dans l'air, par exemple lors d'essais en surface.

L'hélice étant dans l'air, on admettra une puissance à dissiper $P_{\text{tot}} = 600 \text{ W}$.

- $\Delta\theta = (R_{\text{thhc}} + R_{\text{thca}}) \times P_{\text{tot}} = 258^\circ\text{C}$
- Température des enroulements = $\theta_{\text{air}} + \Delta\theta = 278^\circ\text{C}$
- voir classe des isolants et temps de fonctionnement

C5.7. En supposant le moteur thermiquement isolé (pas d'échange thermique avec le milieu extérieur), calculer combien de temps il peut fonctionner dans l'air, avec une puissance à dissiper $P_{\text{tot}} = 600 \text{ W}$, avant que la température des enroulements n'atteigne 80°C .

On prendra la température de départ à 20°C , une masse moteur M égale à 25 kg , une chaleur massique globale $C = 700 \text{ J}^\circ\text{C}/\text{kg}$. (on rappelle la formule $W = M \times C \times \Delta\theta$).

- $W = M \times C \times \Delta \times \theta = 1\,050 \text{ KJ}$
- $t = W / P_{\text{tot}} = 1\,750 \text{ s}$ soit $\approx 29 \text{ min}$

C.6. POUSSÉE DE L'HÉLICE :

La poussée d'un propulseur est de 100 daN à la vitesse de $1\,500 \text{ tr/min}$.
En admettant que la poussée s'exprime par $P = a\Omega^2$ (P en daN , Ω en rad/s).

C6.1. Calculer la poussée d'un propulseur à la vitesse de $1\,000 \text{ tr/min}$.

- $P = 100 \times (1\,000/1\,500)^2 = 44,4 \text{ daN}$

C.7. VARIATEUR DE VITESSE :

Chaque moteur est associé avec un variateur de vitesse de type MLI que l'on trouve en annexe C3.

C7.1. Donner la signification du sigle MLI et expliquer le principe de la MLI.

- modulation de largeur d'impulsion
- la tension sinusoïdale est reconstituée par le découpage d'une tension continue constante à une fréquence de découpage élevée (ex $15\,000 \text{ Hz}$) et en faisant varier la largeur de chaque impulsion

C7.2. Donner les grandeurs de la tension d'alimentation du moteur contrôlées par le variateur.

- la fréquence
- la valeur efficace par la loi U/f

C7.3. La fréquence de découpage du variateur a été choisie à 15 kHz . Indiquer les raisons de ce choix.

- limite des fréquences audibles
- pas trop élevée pour réduire les pertes par commutation.

C7.4. Indiquer quel élément on peut enlever ou modifier sur le variateur d'origine pour réduire ses dimensions et faciliter son intégration dans une sphère pressurisée (voir annexe C3).

- suppression du redressement car alimenté par un bus continu
- suppression du dispositif de récupération pour freinage
- suppression du radiateur remplacé par un support adapté à la courbure de la sphère.

CAHIER QUESTIONS-RÉPONSES PARTIE D

ÉTUDE DES AUTOMATISMES

Instruments de mesure et de contrôle

Régulation des systèmes

Pat: 6
Tilt: -26
Zoom: ---
Focus: ---

cap 255.4
254.8

VICTOR6000
13-26-35

- D1. POSITIONNEMENT DES ENGIN
- D2. PILOTAGE DU VICTOR 6000
- D3. INSTRUMENTATION
- D4. CONTRÔLE DES MOUVEMENTS DES BRAS MANIPULATEURS
- D5. RÉGULATION DE LA TENSION D'ALIMENTATION
- D6. SURVEILLANCE DES DEFAUTS

imm. 2121.6m

alt. 0.8

Ce cahier questions-réponses partie D contient 9 pages numérotées QD1 à QD9 et trois documents annexes notés ANNEXE D1, ANNEXE D2-1 et ANNEXE D2-2.

Répondre aux emplacements réservés.

Le pilotage du VICTOR 6000 nécessite de connaître sa position par rapport au fond, au lest dépresseur, au navire de surface.

Le positionnement du navire de surface est assuré par GPS.

Le positionnement du VICTOR 6000 est assuré par des balises placées sous le fond du navire et une sur le VICTOR : système base ultra courte POSIDIONA®.

Différents capteurs équipent le VICTOR 6000 : ils permettent le contrôle automatique de son assiette, la gestion des mouvements télé-opérés depuis la surface, la gestion du module scientifique, l'instrumentation de ce module suivant la nature de la mission.

Certaines informations sont incrustées dans l'image retour pour une analyse immédiate. Voir photographie sur la page de présentation QD1.

D1. POSITIONNEMENT DES ENGINES :

D1.1. Justifier qu'il soit nécessaire de connaître à tout moment la position relative du bateau de surface, du lest et du VICTOR 6000.

- La position du lest / bateau permet de connaître le courant.
- La position du VICTOR / lest permet de gérer les déplacements en fonction de la longueur de laisse et éviter les croisements intempestifs.
- Le VICTOR est positionné par rapport au fond qui lui sert de référence par sécurité et pour une stabilité et une précision de travail optimale

D1.2. Expliquer comment on peut connaître les positions relatives sur le fond avec, au moins, deux balises ou points remarquables : « amers » (faire des croquis si besoin).

Par relèvement cap compas et triangulation

D1.3. Expliquer comment on peut connaître la valeur de l'immersion du VICTOR 6000 à l'aide d'un capteur de pression.

Par mesure relative de la pression à la profondeur d'immersion par rapport à la pression en surface

- Soit par initialisation en début de plongée soit par tuyau de compensation.
- La pression est liée à la hauteur de colonne d'eau (et densité)
- environ 1 kgf/cm^2 .

D2. PILOTAGE DU VICTOR 6000 :

D2.1. Un régleur (ballast) de 70 litres permet de corriger le poids de l'engin (en embarquant ou en évacuant de l'eau) pour obtenir une flottabilité nulle. Le débit à 6 000 m est de $D = 2 \text{ litres/min}$. On négligera le poids de l'air et on prendra la densité de l'eau égale à 1 et $g = 10 \text{ ms}^{-2}$.

D2.1.1 Calculer le temps qu'il lui faudra pour retrouver un équilibre après un prélèvement de sédiment de 25 dm^3 de densité 1,8.

- | | |
|--|---|
| - poids du prélèvement | $P_p = 25 \times 1,8 \times 10 = 450 \text{ N}$ |
| - poussée d'Archimède | $P_a = 25 \times 10 = 250 \text{ N}$ |
| - poids et volume d'eau à évacuer du régleur | $P_e = 200 \text{ N}$ soit 20 litres |
| - temps d'évacuation nécessaire | $T_e = 20 / D = 10 \text{ mn}$ |

D3. INSTRUMENTATION :

D3.1. Indiquer quel est le principe de fonctionnement du capteur de température (voir annexe D1).

- Sonde Pt 100.

- Variation de la résistance de la sonde en fonction de la température.

D3.2. À l'aide de la documentation fournie (annexe D1), donner la valeur de la résistance de la sonde Pt100 à 100°C.

R = 138,5 Ω

D3.3. La documentation indique que la sonde dispose d'une sortie 4-20 mA.

Indiquer quel peut-être l'intérêt d'une sortie 4-20 mA par rapport à une sortie 0-10 V.

- Boucle de courant.
- Mesure non affectée par la longueur des fils de mesure.
- Détection d'une coupure de la ligne

D4. CONTRÔLE DES MOUVEMENTS DES BRAS MANIPULATEURS :

Deux bras manipulateurs équipent le module scientifique. Ils permettent d'effectuer des prélèvements, carottages, manipulations, etc.

Ils sont actionnés par des moteurs et vérins hydrauliques.

Les mouvements sont asservis et contrôlés par des codeurs de positions dont la documentation est fournie en annexes D2.

D4.1. Un bras complètement déplié balaye un arc de cercle de rayon égal à 1,5 mètres.

La rotation est limitée à 200 degrés pour une durée minimale de 4 s. On désire une précision de positionnement en bout de bras meilleure que 2 mm.

Le codeur, placé directement sur l'axe de rotation, a pour référence E6D-CZ1E.

D4.1.1 Donner le type de ce codeur.

Type incrémental

D4.1.2 Calculer la valeur de la résolution du codeur qui permettra d'atteindre la précision demandée.

- 1 tour codeur = 1 tour du bras
- circonférence = $\pi D = 9\,425\text{ mm}$ $9\,425 / 2 = 4\,713$
- codeur > 4713 impulsions par tour.

D4.1.3 Choisir dans la documentation la résolution qui convient pour ce codeur.

Codeur de 5 000 impulsions par tour.

D4.1.4 Calculer la valeur de la fréquence minimale en entrée du système d'acquisition.

- fréquence des impulsions $f = 5\,000 \times (200 / 360) / 4 = 694,4\text{ Hz}$

D4.1.5 Déterminer si le codeur convient pour cette fréquence.

Oui, il peut aller jusqu'à 200 kHz !

D4.2. Indiquer comment, à la mise sous tension du système, on peut connaître la position absolue du bras.

Piste Z + recherche du "zéro"

D4.3. Donner l'utilité des deux voies A et B du codeur.

- Deux pistes A et B délivrent des impulsions déphasées de $\frac{1}{4}$ de période
- A arrive avant B ou B arrive avant A suivant le sens de rotation → savoir le sens de rotation

D4.4. Déterminer les caractéristiques, dans les mêmes conditions d'utilisation, pour un codeur absolu.

- nombre de pistes n tel que $2^n > 4\,713$

$$2^{13} = 8\,192$$

- n = 13 soit 13 pistes

$$f_{\text{mini}} = 694,4 \text{ Hz}$$

D4.5. Indiquer quel serait l'intérêt d'utiliser un codeur absolu.

On sait toujours la position du mobile, même après une coupure de courant.

D5. RÉGULATION DE LA TENSION D'ALIMENTATION :

Dans la partie B on a étudié l'alimentation du VICTOR 6000 depuis la surface à partir de l'énergie de bord du navire de surface.

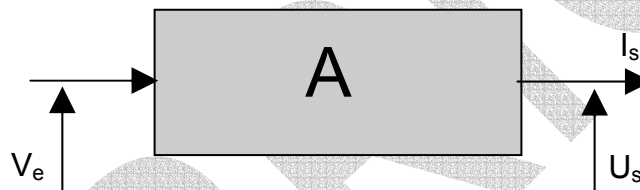
Un convertisseur délivre une tension de 2 000 V 400 Hz acheminée par le câble de 9 000 mètres de longueur.

Les équipements du VICTOR fonctionnent sur un BUS continu de 250 V obtenu par abaissement et filtrage de la tension en bout de câble.

La tension de ce BUS continu est prélevée et renvoyée vers la surface, par un conducteur de mesure placé dans le câble, pour en effectuer la régulation par la commande du convertisseur.

D5.1. Étude du système **sans régulation** de la tension du BUS continu :

Vu depuis le VICTOR 6000, le système d'alimentation sans régulation de la tension du BUS continu peut se réduire au modèle suivant :



U_s est la tension du BUS continu, délivrant un courant I_s .

V_e est la tension de contrôle du convertisseur permettant de régler U_s selon l'expression :

$$U_s = 30 V_e - 0,6 I_s - 0,002 I_s^2$$

D5.1.1 Calculer V_e (tension de contrôle) pour $U_s = 250 \text{ V}$ et $I_s = 0$ (fonctionnement à vide) :

$$I_s = 0$$

$$\text{donc } V_e = U_s / 30$$

$$V_e = 250 / 30 = 8,333 \text{ V}$$

D5.1.2 Calculer U_s (tension du BUS continu) pour la tension de contrôle V_e trouvée précédemment et pour $I_s = 80 \text{ A}$ (fonctionnement en charge).

$$U_s = 30 V_e - 0,6 I_s - 0,002 I_s^2$$

$$U_s = 30 \times 8,333 - 0,6 \times 80 - 0,002 \times 80^2 = 189,2 \text{ V}$$

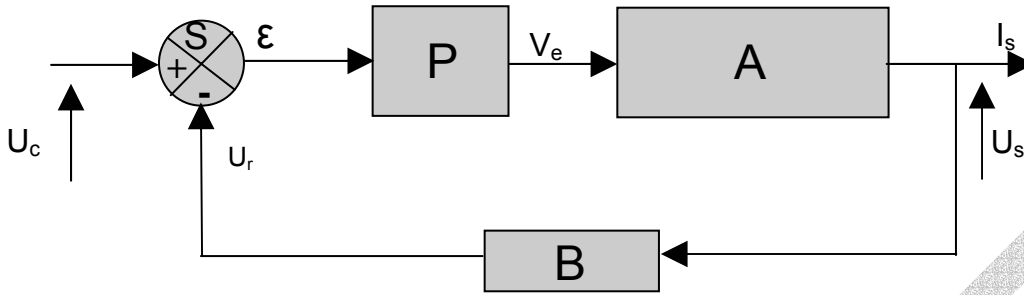
D5.1.3 Calculer la chute de tension relative (en %) du BUS continu entre le fonctionnement à vide ($I_s = 0 \text{ A}$) et le fonctionnement en charge ($I_s = 80 \text{ A}$).

$$\Delta U_s = 60,8 \text{ V}$$

$$\Delta U_s / U_s = 60,8 / 250 = 24,3\%$$

D5.2. Étude du système avec régulation de la tension du BUS continu :

Vu depuis le VICTOR 6000, le système d'alimentation avec régulation de la tension du BUS continu peut se réduire au modèle simplifié suivant :



- **A** est le système d'alimentation, précédemment étudié, délivrant U_s et I_s en fonction de V_e (tension de contrôle du convertisseur) selon l'expression : $U_s = 30 V_e - 0,6 I_s - 0,002 I_s^2$
- **P** est un régulateur (proportionnel pour simplifier l'étude) traitant la tension d'erreur ϵ et délivrant V_e selon l'expression : $V_e = P \epsilon$
- **S** est un comparateur permettant de calculer l'erreur de tension ϵ entre la tension de consigne U_c et la tension de retour U_r selon l'expression : $\epsilon = U_c - U_r$
- **B** est le système de retour de la tension du bus continu U_s , délivrant la tension de retour U_r selon l'expression : $U_r = B U_s$

D5.2.1 Calculer U_c (tension de consigne) pour $U_s = 250 V$ et $I_s = 0$ (fonctionnement à vide).

$$U_c = U_r + \epsilon$$

$$U_c = B \times U_s + V_e / P$$

$$U_c = 250 / 30 + 8,333 / 10 = 9,166 V$$

D5.2.2 Calculer U_s (tension du BUS continu) pour la tension de consigne trouvée précédemment et pour $I_s = 80 A$ (fonctionnement en charge).

$$U_s = 30 V_e - 0,6 I_s - 0,002 I_s^2$$

$$U_s = 30 V_e - 0,6 \times 80 - 0,002 \times 80^2$$

$$U_s = 30 V_e - 60,8$$

$$- V_e = P \epsilon = P (U_c - U_r) = P (U_c - B U_s) = 10 \times (9,166 - (30 V_e - 60,8) / 30)$$

$$V_e = 10,175 V$$

$$U_s = 30 V_e - 60,8 = 30 \times 10,175 - 60,8 = 244,45 V$$

D5.2.3 Calculer la chute de tension relative (en %) du BUS continu entre le fonctionnement à vide ($I_s = 0 A$) et le fonctionnement en charge ($I_s = 80 A$).

$$\Delta U_s = 5,55 V$$

$$\Delta U_s / U_s = 5,55 / 250 = 2,22 \%$$

D6. SURVEILLANCE DES DEFAUTS :

Pour protéger les équipements du VICTOR 6000 alimentés par le BUS continu, une surveillance de la tension U_s est réalisée avec deux seuils $U_{s\text{mini}}$ et $U_{s\text{maxi}}$.

Cette protection n'intervient normalement pas car la tension U_s est régulée : un défaut de la régulation ou une charge trop importante sont toutefois possibles.

L'enceinte pressurisée où sont placés les équipements électriques est contrôlée en température par un capteur avec un seuil de déclenchement θ_{max} .

Les entrées d'eau provenant d'un défaut d'étanchéité sont signalées avec deux niveaux de détection Eau_1 et Eau_2 .

Le tableau ci-dessous récapitule les entrées du système de surveillance et les sorties qui seront activées pour protéger l'installation et visualiser les défauts.

Rep	ENTREES	Rep	SORTIES
U_{smin}	Seuil de tension minimale	DEL	Délestage puissance
U_{smax}	Seuil de tension maximale	AL	Alimentation du câble
θ_{max}	Seuil de température maximale	CA	Coupure de l'alimentation du câble
Eau ₁	Niveau 1 d'entrée d'eau	V _{del}	Voyant de délestage
Eau ₂	Niveau 2 d'entrée d'eau	V _{ca}	Voyant de coupure
Del	Retour délestage effectué	V _{umin}	Voyant de tension minimale
Acq	Acquittement des défauts	V _{umax}	Voyant de tension maximale
Arm	Armement du système	V _{θmax}	Voyant de température maximale
		V _{eau}	Voyant d'entrée d'eau

FUNCTIONNEMENT DU SYSTÈME DE SURVEILLANCE :

Surveillance de la tension :

Si la tension U_s est trop élevée, on coupe l'alimentation du câble et des voyants signalent la coupure et l'origine du défaut.

Si la tension U_s est trop faible, on déleste une partie des équipements non prioritaires. Une fois le délestage effectué, si le défaut disparaît, des voyants signalent le délestage et l'origine du défaut.

Une fois le délestage effectué, si le défaut persiste, on coupe l'alimentation du câble et des voyants signalent la coupure et l'origine du défaut.

Un bouton poussoir permet l'acquittement des défauts.

Surveillance de la température :

Si la température dans l'enceinte est trop élevée, on déleste une partie des équipements non prioritaires, et des voyants signalent le délestage et l'origine du défaut.

Une fois le délestage effectué et après une attente de 1 minute, si le défaut disparaît, des voyants signalent le délestage et l'origine du défaut.

Une fois le délestage effectué et après une attente de 1 minute, si le défaut persiste, on coupe l'alimentation du câble et des voyants signalent la coupure et l'origine du défaut.

Un bouton poussoir permet l'acquittement des défauts.

Surveillance des entrées d'eau :

Si une entrée d'eau survient dans l'enceinte, un premier niveau est détecté et signalé par voyant à l'opérateur.

Si un deuxième niveau est atteint, on coupe l'alimentation du câble et des voyants signalent le défaut et la coupure.

Un bouton poussoir permet l'acquittement des défauts.

D6.1. Compléter le GRAFCET suivant, du point de vue commande, permettant d'assurer les protections et la visualisation des défauts décrits précédemment.
 Pour simplifier l'étude, on admettra que les défauts ne peuvent survenir simultanément.

