



MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE

Liberté
Égalité
Fraternité

Académie de Grenoble

LYCEE DES METIERS LA PLÉIADE

Pont de Cheruy



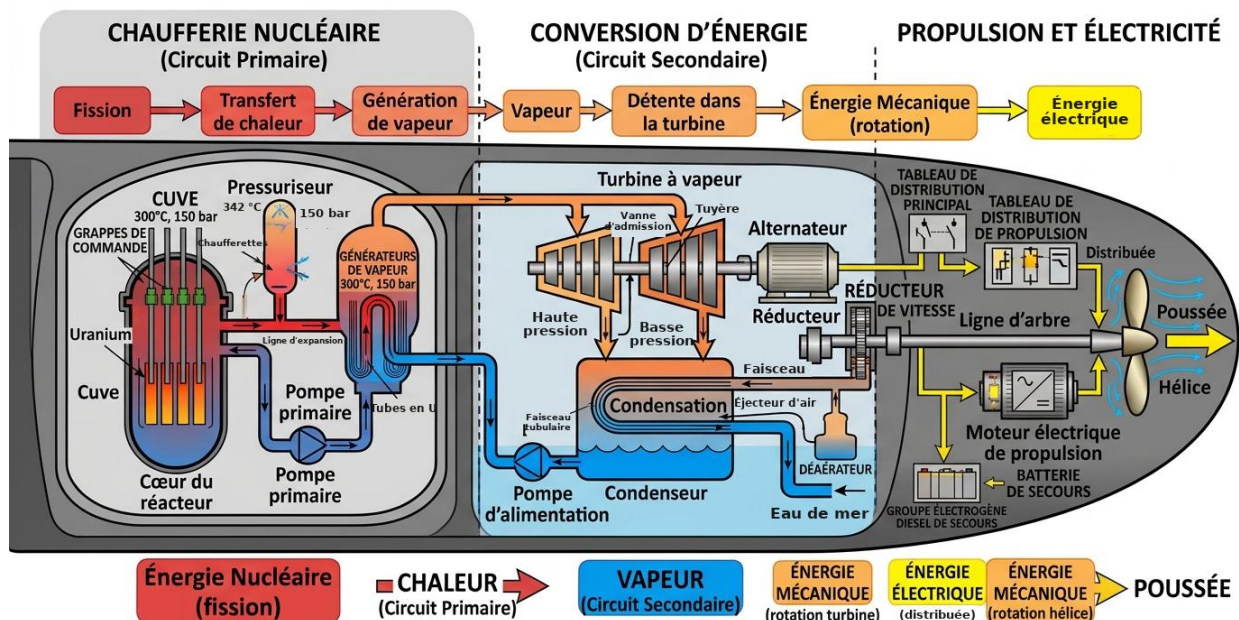
Propulsion nucléaire navale

TP 03 – Partie 1

Terminale AC – ITEC – EE

Enquête sur la chaîne d'énergie du programme Barracuda

Propulsion nucléaire d'un sous-marin d'attaque — principe de fonctionnement



Terminale	Propulsion nucléaire navale		DM – TP03
Objectifs :	▪ Exploiter le cahier des charges du programme Barracuda : besoin, exigences, critères, niveaux, flexibilités. ▪ Identifier les fonctions et les formes d'énergie de la chaîne de propulsion du Suffren. ▪ Réaliser les calculs de la chaîne d'énergie (relation littérale → application numérique → résultat). ▪ Conclure conforme / non conforme sur chaque exigence et compléter le tableau de justification des conformités.		
Compétences visées	Programme de 2I2D (ingénierie, innovation et développement durable), classe terminale STI2D : arrêté du 17 janvier 2019 – BO spécial n°1 du 22 janvier 2019 (NOR MENE1901591A), annexe 1. Chapitre du tronc commun aux quatre enseignements (AC, ITEC, EE, SIN). Compétences du programme (B0) : C02.1 Décoder le cahier des charges d'un produit, participer, si besoin, à sa modification. → <i>exigences du système de propulsion, tableau de conformité</i> C01.3 Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale. → <i>rendements, pertes, condenseur, rendement global</i> C03.1 Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un produit ainsi que ses entrées/sorties. → <i>fonctions alimenter, distribuer, convertir, transmettre de la chaîne de propulsion</i>		
Connaissances associées (B0)	2.3.1 à 2.3.3 Chaînes de puissance : typologie, stockage d'énergie, conversion de puissance 3.3 Comportement énergétique des produits : conservation de l'énergie, pertes et rendements, sources d'énergie, bilan énergétique		
Durée	Devoir maison (≈ 3 h)		
Discipline	AC – ITEC – EE		
Notation Pronote	20 points (partie 1 du TP 03, sur 40)	Individuel	
Coefficient	1		

DM

03

CHAPITRE 04 · TP · PARTIE 1 · DEVOIR MAISON

Vérifier le cahier des charges

Programme Barracuda SNA Suffren · Terminale STI2D · individuel · ≈ 3 h à la maison · calculatrice autorisée

NOM

PRÉNOM

CLASSE

SITUATION

Votre mission

Vous êtes ingénieur(e) stagiaire au **bureau d'études propulsion** du lycée La Pléiade. Le **cahier des charges du programme Barracuda** (CDC) fixe treize exigences au système de propulsion du sous-marin nucléaire d'attaque **Suffren**.

Votre mission : vérifier, calculs à l'appui, que la chaîne d'énergie respecte ces exigences, puis remplir le **tableau de justification des conformités** du CDC (§ 6).

Ensuite, en classe : la partie 2 du TP (atelier SolidWorks) portera sur la **bride d'accouplement** de la ligne d'arbre.

CONSIGNES

Comment travailler

- Ressources : le **CDC Barracuda** (les numéros « § » renvoient au CDC) et le **Cours 04** (les numéros « FIG. » renvoient au cours).
- Tous les calculs se rédigent en **3 étapes** : relation littérale, application numérique, résultat **avec unité**.
- Le **formulaire** de la page suivante contient toutes les formules du devoir.
- Pour vérifier une exigence, concluez toujours par **conforme** ou **non conforme**, en citant le niveau du CDC.
- Donnez les résultats avec 3 chiffres significatifs. Une réponse sans justification ou sans unité ne rapporte pas de point.

DÉROULÉ CONSEILLÉ

PARTIE	CE QUE JE FAIS	RESSOURCES	DURÉE	POINTS
—	Lire le formulaire et le piège des unités	page suivante	10 min	—
1	Lire et analyser le cahier des charges	CDC § 1 à 6 · cours I	45 min	6
2	La chaîne d'énergie en mode turbo-mécanique	CDC § 7 · cours II et III	60 min	7
3	Vérifier les performances et les exigences	CDC § 6 à 9 · cours IV et V	75 min	7

AVANT DE COMMENCER

Le formulaire du devoir

NOTION	FORMULE	UNITÉS	QUESTIONS
Conversion de vitesse	$v_{(m/s)} = \frac{v_{(nœuds)} \times 1\,852}{3\,600}$	1 nœud = 1 852 m/h	3.1
Vitesse angulaire	$\omega = \frac{2\pi \times N}{60}$	ω en rad/s N en tr/min	3.2
Puissance en rotation	$P = C \times \omega$ $C = \frac{P}{\omega}$	P en W C en N·m ω en rad/s	3.2
Puissance en translation	$P = F \times v$ $F = \frac{P}{v}$	P en W F en N v en m/s	3.1
Rendement	$\eta = \frac{P_u}{P_a}$ $P_u = \eta \times P_a$	η sans unité ($\eta < 1$) P_u en W P_a en W	2.3 2.4
Pertes	$pertes = P_a - P_u$	pertes en W	2.5
Rendement global	$\eta_g = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \dots$	η_g sans unité	2.4
Rapport de réduction	$r = \frac{N_{sortie}}{N_{entrée}}$	r sans unité N en tr/min	3.2
Effort sur une vis (n vis)	$F_{vis} = \frac{C}{n \times R}$	F_{vis} en N C en N·m R (rayon) en m	3.3
Loi de puissance propulsive	$P(v) = P_{max} \times \left(\frac{v}{v_{max}}\right)^3$	P(v) dans l'unité de P_{max} v dans l'unité de v_{max}	3.4 3.5
Puissance en triphasé	$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$ $I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi}$	P en W U en V I en A $\cos \varphi$ sans unité	3.4
Énergie d'une batterie	$E = U \times Q$	E en W·h U en V Q en A·h	3.5
Énergie et puissance	$E = P \times t$ $t = \frac{E}{P}$	E en J si P en W et t en s E en W·h si P en W et t en h	3.5 3.6
Puissance thermique d'un fluide	$P = q_m \times c \times \Delta T$ $\Delta T = \frac{P}{q_m \times c}$	P en W q_m en kg/s c en J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹ ΔT en °C	2.5 2.6
Masse d'un combustible	$m = \frac{E}{e}$	m en g ou en kg E en J e en J/g ou en J/kg	3.6

PIÈGE À ÉVITER

Les unités avant tout

- Les puissances du CDC sont en **mégawatts** : travaillez en **watts**.

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$

- Une fréquence de rotation en **tr/min** se convertit en **rad/s** avant d'utiliser $P = C \times \omega$.
- Une vitesse en **nœuds** se convertit en **m/s** avant d'utiliser $P = F \times v$.
- Une durée de dix ans se convertit en secondes :

$$t = 10 \times 365 \times 24 \times 3\,600 \text{ s}$$

- Un rayon est la **moitié** d'un diamètre.

PARTIE 1

Lire et analyser le cahier des charges (6 points)

À LIRE DANS LE CDC

§ 1 à 6 — et la partie I du cours

Objet du document · programme Barracuda, acteurs, calendrier · caractéristiques du Suffren · exigences et tableau de justification des conformités.

- 1.1 À l'aide du § 2 du CDC, indiquer qui assure la maîtrise d'ouvrage du programme, qui est maître d'œuvre du sous-marin et qui est maître d'œuvre de la chaufferie. Citer ensuite deux missions d'un SNA. (1 pt)

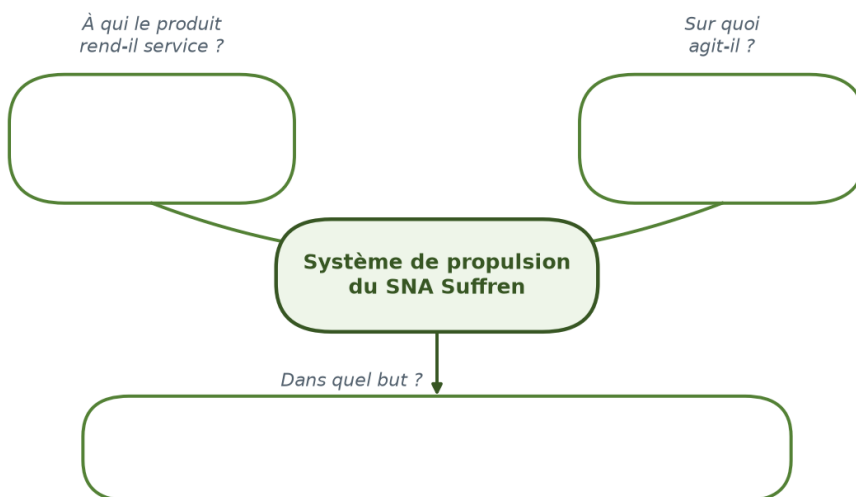
.....

.....

.....

.....

- 1.2 À partir des § 1 et § 2 du CDC, compléter la « bête à cornes » du système de propulsion (DOC 1). (1,5 pt)



DOC 1 Bête à cornes du système de propulsion, à compléter.

- 1.3 Dans le tableau du § 2.4, relever deux évolutions entre le Rubis et le Suffren. Pour chacune, expliquer en une phrase son intérêt pour la mission (aidez-vous des FIG. 2 et 11 du cours). (1 pt)

.....

.....

.....

.....

- 1.4 Pour les exigences EX004 et EX007 (§ 6), recopier le critère, le niveau et la flexibilité. Expliquer ce que signifie F0 et pourquoi EX004 est classée F0. (1 pt)

EXIGENCE	CRITÈRE	NIVEAU	FLEXIBILITÉ
EX004			
EX007			

.....

.....

.....

- 1.5 Exigence EX013 : expliquer pourquoi un moteur diesel ne peut pas fonctionner en plongée profonde alors qu'un réacteur nucléaire le peut. Pourquoi l'exigence ne vise-t-elle que les modes 1 et 2 (§ 7.1.2) ? (0,5 pt)

.....

.....

.....

- 1.6 Exigence EX012 : à l'aide de la FIG. 5 du cours et du § 7.2.1 du CDC, expliquer pourquoi l'eau du circuit primaire est maintenue à 150 bar et conclure sur la conformité. Donner ensuite une raison de séparer les circuits primaire et secondaire (FIG. 6 du cours). (1 pt)

.....

.....

.....

.....

PARTIE 2

La chaîne d'énergie en mode turbo-mécanique (7 points)

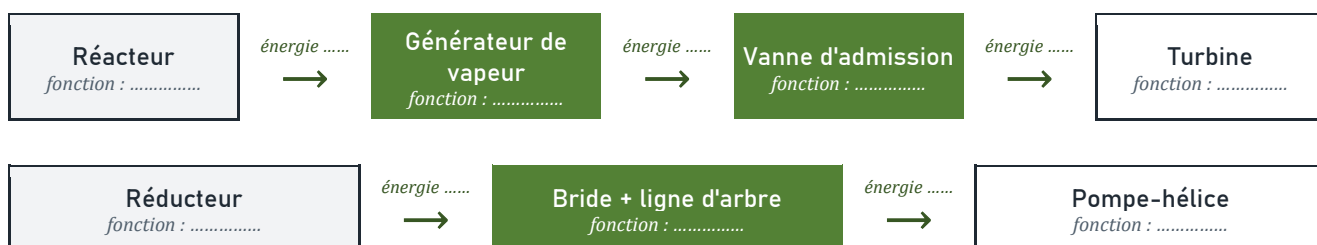
À LIRE DANS LE CDC

§ 7.1.2, § 7.1.7 et § 7.2 — parties II, III et V du cours

Modes de fonctionnement · architecture et rôle des constituants · données techniques pédagogiques · rendement, pertes, puissance thermique d'un fluide, diagramme de Sankey.

On étudie le sous-marin à sa vitesse maximale (**25 nœuds**), en **mode 1**. Données : CDC § 7.2.

- 2.1 Compléter la chaîne d'énergie du mode 1 : sous chaque constituant, écrire sa fonction (alimenter, distribuer, convertir ou transmettre) ; sur chaque flèche, écrire la forme de l'énergie transmise. (1,5 pt)



- 2.2 Même travail pour la chaîne électrique du mode 2. (0,5 pt)



- 2.3 Calculer la puissance disponible à la sortie de chaque constituant du mode 1, puis reporter les résultats dans le tableau. (2 pts)

.....

.....

.....

.....

.....

GRANDEUR	SYMBOLE	VALEUR (MW)
Puissance thermique du réacteur	P_{th}	60
Puissance transmise à la vapeur (sortie du GV)	P_{vap}	
Puissance mécanique sur l'arbre de la turbine	P_T	
Puissance à la sortie du réducteur	P_R	
Puissance sur l'arbre d'hélice	$P_{hélice,max}$	

- 2.4 Calculer le rendement global de la chaîne, du réacteur à l'arbre d'hélice, de deux façons différentes. Conclure sur l'exigence EX003. (1 pt)

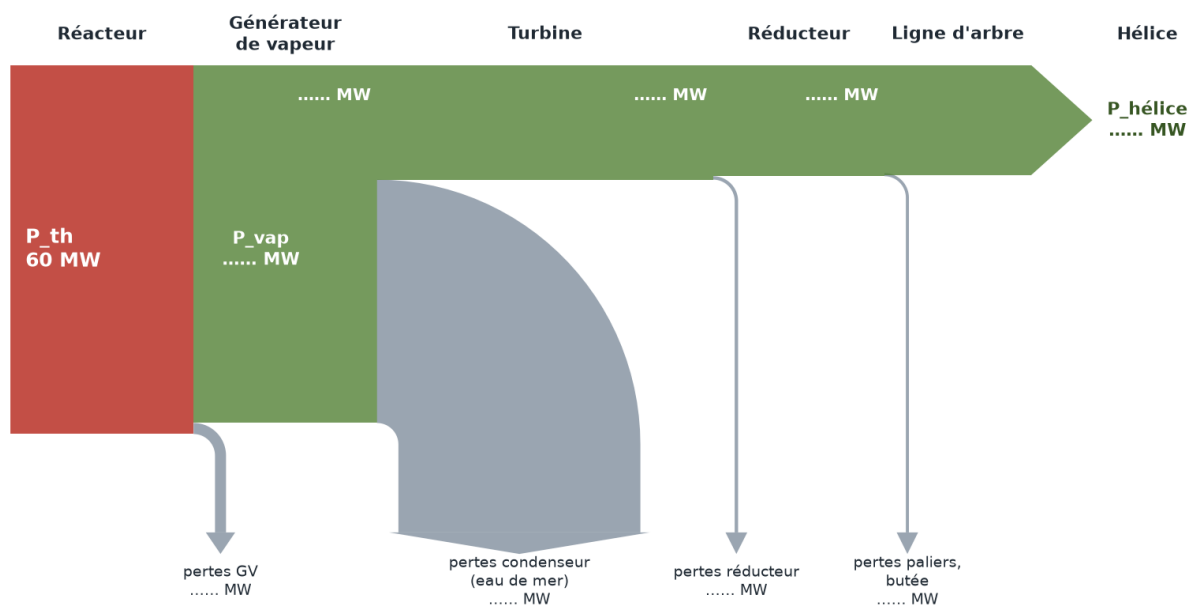
Relation littérale :

Application numérique :

Résultat (avec unité) :

Conclusion :

- 2.5 a) Compléter le diagramme de Sankey (DOC 2) avec les puissances et les pertes. b) La puissance que la turbine ne transforme pas en énergie mécanique est cédée à l'eau de mer : calculer cette puissance P_{cond} . c) Calculer l'échauffement ΔT de l'eau de mer et conclure sur EX004. (1,5 pt)



DOC 2 Diagramme de Sankey du mode 1, à compléter (largeurs à l'échelle).

Relation littérale :

Application numérique :

Résultat (avec unité) :

Conclusion :

- 2.6 Calculer le débit massique d'eau dans le circuit primaire nécessaire pour transporter P_{th} du cœur au GV. (0,5 pt)

Relation littérale :

Application numérique :

Résultat (avec unité) :

PARTIE 3

Vérifier les performances et les exigences (7 points)

À LIRE DANS LE CDC

§ 6, § 7.1.8, § 7.2 et § 9.2 — parties IV et V du cours

Exigences EX002 et EX005 à EX009 · loi du cube · propulsion électrique et secours · bride d'accouplement · couple, rapport de réduction, poussée, triphasé, batterie.

- 3.1 Convertir 25 nœuds en m/s. Calculer la puissance de poussée de la pompe-hélice, puis la poussée F . Conclure sur EX002. (1 pt)

Relation littérale :

Application numérique :

Résultat (avec unité) :

Conclusion :

- 3.2 Calculer le rapport de réduction r du réducteur (FIG. 9 du cours), puis le couple C_T sur l'arbre de la turbine et le couple C_H sur l'arbre d'hélice. Expliquer en une phrase pourquoi le couple augmente. (1 pt)

Relation littérale :

Application numérique :

Résultat (avec unité) :

- 3.3 La bride transmet C_H par 10 vis placées sur un cercle de diamètre 620 mm (§ 9.2). a) Calculer l'effort tangentiel supporté par une vis. b) Conclure sur EX009 avec le couple transmissible garanti. (1 pt)

Relation littérale :

Application numérique :

Résultat (avec unité) :

Conclusion :

- 3.4 Mode 2 à 6 nœuds. a) Calculer la puissance nécessaire sur l'arbre d'hélice (§ 7.1.8 ; vérifier l'ordre de grandeur sur la FIG. 15 du cours). b) En déduire la puissance absorbée par le MEP. c) Calculer l'intensité en ligne. d) Conclure sur EX005 et EX006. e) Comparer à la puissance à 25 nœuds : quel intérêt pour la discrétion ? (1,5 pt)

Relation littérale :

Application numérique :

.....

.....

Résultat (avec unité) :

Conclusion :

.....

- 3.5** Mode 3 à 4 nœuds. a) Calculer l'énergie utilisable de la batterie (kW·h). b) Calculer la puissance que doit fournir la batterie (propulsion + besoins vitaux, § 7.2.3). c) En déduire l'autonomie et conclure sur EX007. (1 pt)

Relation littérale :

.....

Application numérique :

.....

.....

Résultat (avec unité) :

Conclusion :

- 3.6** Exigence EX008. a) Calculer l'énergie thermique produite par le cœur en 10 ans à la puissance moyenne P_{moy} . b) En déduire la masse d'U-235 fissionnée et conclure. c) Calculer la masse de gazole qui libérerait la même énergie, et commenter. (1 pt)

Relation littérale :

.....

Application numérique :

.....

.....

Résultat (avec unité) :

Commentaire :

- 3.7** Reporter vos résultats dans le tableau ci-dessous, puis dans le § 6 du CDC. Conclure en trois lignes : le système de propulsion répond-il au cahier des charges ? (0,5 pt)

N°	NIVEAU EXIGÉ	VALEUR OBTENUE	RENOI	C / NC
EX002	$\geq 900 \text{ kN}$		Q 3.1	
EX003	$\geq 25 \%$		Q 2.4	
EX004	$\leq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$		Q 2.5	
EX005	$\leq 300 \text{ kW}$		Q 3.4	
EX006	$\leq 250 \text{ A}$		Q 3.4	
EX007	$\geq 6 \text{ h}$		Q 3.5	

N°	NIVEAU EXIGÉ	VALEUR OBTENUE	RENOI	C / NC
EX008	≥ 10 ans		Q 3.6	
EX009	$\geq 1,5 \times C_H$		Q 3.3	
EX012	$T_s < T_{éb}$		Q 1.6	
EX013	Aucune combustion		Q 1.5	

Conclusion :

.....

.....

NOTE DE LA PARTIE 1

PARTIE 1 — CDC	PARTIE 2 — CHAÎNE D'ÉNERGIE	PARTIE 3 — EXIGENCES	TOTAL
/ 6	/ 7	/ 7	/ 20

SYNTHÈSE

Je fais le point

- ☐ Je sais retrouver dans un cahier des charges une exigence, son critère, son niveau et sa flexibilité.
- ☐ Je sais écrire la chaîne d'énergie d'un système : fonctions et formes d'énergie.
- ☐ Je sais calculer des puissances, des pertes et un rendement global, et tracer un diagramme de Sankey.
- ☐ Je sais calculer un couple, un rapport de réduction, une poussée et l'effort sur une vis.
- ☐ Je sais calculer une intensité en triphasé, l'énergie d'une batterie et une autonomie.
- ☐ Je sais conclure « conforme / non conforme » en citant le niveau exigé.