Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

REMPLACEMENT 2023
Métropole - Réunion

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR AGRICOLE
E7-2 ÉPREUVE INTÉGRATIVE

Option : GEMEAU

Durée : 150 minutes

Matériel(s) et document(s) autorisé(s) : **Calculatrice**

Le sujet comporte 9 pages

NB : Les documents ont été modifiés pour les besoins de l'épreuve

---

L'annexe A est à rendre avec la copie après avoir été numérotée

---

SUJET

Réhabilitation d'une microcentrale hydroélectrique sur la Vire

Contexte :

L'hydroélectricité est la première source d'électricité renouvelable en France. Le maintien de la capacité de production d'électricité d'origine hydraulique constitue un enjeu pour l'équilibre du mix énergétique français.

Dans ce contexte, un producteur d'électricité souhaite réhabiliter une microcentrale hydroélectrique sur la Vire, un fleuve normand qui traverse les départements du Calvados et de la Manche.

Le **document 1** présente le schéma simplifié de l'installation.

Le **document 2** présente le principe de fonctionnement d'une microcentrale.

Situation professionnelle :

Vous êtes technicien(ne) supérieur(e) au sein du bureau d'études missionné par le producteur pour réaliser l'étude d'opportunité de la réhabilitation du site de la microcentrale pour la production d'électricité. Dans ce cadre, vous devrez :

- Confirmer le potentiel hydroélectrique du site. **(10 points)**
- Optimiser le fonctionnement de la microcentrale. **(6 points)**
- Évaluer l'intérêt économique et la durabilité du projet de réhabilitation. **(4 points)**

PARTIE 1 : Potentiel hydroélectrique du site (10 points)

Sur le site de la microcentrale, le règlement d'eau impose un débit réservé de 400 L/s. Dans son projet, le producteur prévoit d'installer deux turbines : une turbine T-600, de débit maximum 600 L/s et une turbine T-1 000, de débit maximum 1 000 L/s. Il souhaite turbiner un débit de 1 600 L/s pendant au moins 3 500 heures dans l'année.

Le **document 3** fournit une synthèse des données hydrologiques de la station hydrométrique de la Vire à Coulonces, située en aval immédiat du projet.

La réglementation impose comme valeur minimale du débit réservé, dans la rivière en aval de la prise d'eau, la valeur la plus grande entre :

- Le 1/10ème du module.
- Le débit minimum biologique (DMB), fixé pour la Vire à 15 % du module.
- Le débit de référence d'étiage qui correspond à la valeur quinquennale sèche du QMNA (débit mensuel minimum de l'année de période de retour 5 ans).

1. **Vérifier** que le débit réservé envisagé respecte la réglementation.
2. **Identifier** les mois de l'année pendant lesquels la microcentrale peut fonctionner à sa capacité maximale.

Le **document 4** présente la courbe des débits moyens journaliers de la Vire en fonction de la fréquence de dépassement.

3. **Déterminer** le nombre de jours pendant lesquels :
   - La microcentrale ne peut pas turbiner.
   - La microcentrale peut turbiner un débit égal ou supérieur à 600 L/s.
   - La microcentrale peut turbiner un débit égal ou supérieur à 1 600 L/s.
4. **Vérifier** la possibilité d'atteindre l'objectif de turbiner un débit de 1 600 L/s pendant plus de 3 500 heures dans l'année.

La Puissance Maximale Brute (PMB) de l'installation est déterminée par la formule :

$$\mathbf{PMB = \rho \cdot g \cdot Hb \cdot Q_{max\ turbiné}}$$

Avec :

- PMB en W
- $Q_{max\ turbiné}$ en m^3/s
- H_b : hauteur de chute brute en m
- ρ : masse volumique de l'eau en kg/m^3
- g : accélération de la pesanteur en m/s^2

Sur le site de la microcentrale, la hauteur de chute brute est de 16 m.

Le Code de l'Environnement exige un rapport d'incidence qui est constitué :

- D'un simple document d'incidence si la PMB de l'installation est inférieure à 500 kW.
- D'une étude d'impact complète si la PMB est supérieure à 500 kW.

5. **Identifier** la nature du rapport d'incidence que le producteur doit fournir.

La microcentrale est équipée d'une conduite forcée en acier de diamètre 1 100 mm. Elle est vétuste et fortement corrodée. Pour cette conduite forcée, l'étude hydraulique du site conduit à considérer :

- Un coefficient de Strickler estimé à $K_S = 40\ m^{1/3}/s$.
- Une perte de charge unitaire équivalente de valeur I = 0,0065 m/m.

6. **Calculer**, à l'aide du **document 5**, le débit maximal de la conduite en acier.
Argumenter sur la nécessité pour le producteur de remplacer la conduite forcée en acier.

Pour des raisons techniques et économiques, vous proposez au producteur de chemiser l'ancienne conduite forcée avec une conduite en PRV (Polyester Renforcé de Verre).
Les caractéristiques de la conduite en PRV sont :

- Diamètre intérieur : 800 mm.
- Coefficient de Strickler : $120\ m^{1/3}/s$.
- Perte de charge unitaire estimée équivalente à la valeur précédente.

7. **Argumenter** la pertinence de votre proposition auprès du producteur.

PARTIE 2 : Optimisation du fonctionnement de la microcentrale (6 points)

Pour cette microcentrale, les turbines peuvent fonctionner individuellement ou simultanément.
Deux modes de fonctionnement sont envisagés :

- Mode 1 : les turbines fonctionnent uniquement à leur débit maximal.
- Mode 2 : les turbines fonctionnent sur une plage de débit allant de 20 % à 100 % de leur débit maximal.

8. **Formuler** un avis sur le fonctionnement de la microcentrale en mode 1 en prenant en compte :

- La réglementation relative au débit réservé.
- La volonté du producteur de maximiser la production d'énergie électrique.

Le **document 6** présente l'évolution du rendement de la turbine Francis, équipant la microcentrale, en fonction de la fraction du débit maximal de la turbine (Q turbiné / Q maximal).

9. **Déterminer** le rendement de la turbine T-1 000 pour un débit turbiné de 600 L/s.

On considère un débit turbiné total de 1 200 L/s. Trois configurations de turbinage sont proposées et figurent dans l'**annexe A**.

10. **Compléter** le tableau de l'**annexe A** à l'aide des **documents 5 et 6**.

11. **Présenter** au producteur la configuration de turbinage qui permet d'optimiser le fonctionnement de la microcentrale au débit de 1 200 L/s.

PARTIE 3

Évaluation de l'intérêt économique et de la durabilité du projet de réhabilitation (4 points)

L'étude économique, en première approche, porte sur le fonctionnement simplifié suivant :

- Turbinage à 600 L/s pendant 40 jours avec une PN de 70 kW.
- Turbinage à 1 000 L/s pendant 50 jours avec une PN de 110 kW ;
- Turbinage à 1 600 L/s pendant 160 jours avec une PN de 150 kW.

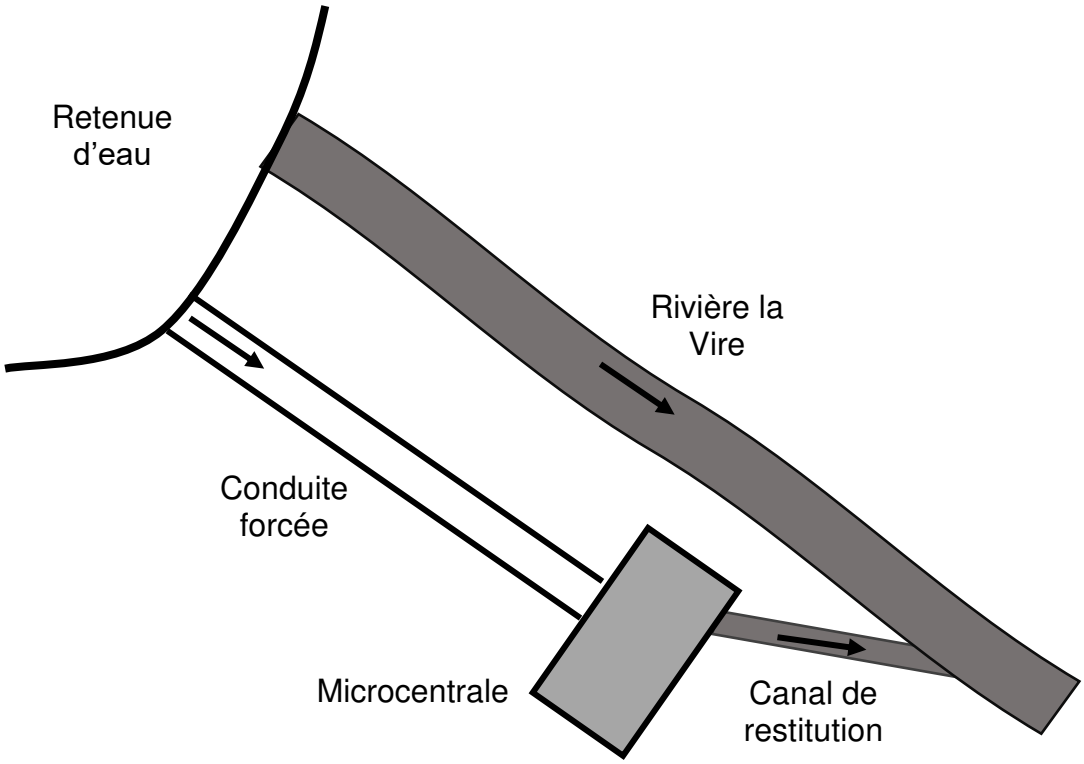
L'investissement total (foncier, travaux, rénovation) est estimé à 650 000 €.
Le prix moyen d'achat du kWh produit est de 0,13 €.
La consommation moyenne d'un abonné domestique est de 3 900 kWh, hors chauffage.

12. **Calculer** la production annuelle d'énergie électrique par la microcentrale.

13. **Formuler** un avis argumenté sur la durabilité du projet de réhabilitation de la microcentrale et l'intérêt économique pour le producteur.

DOCUMENT 1

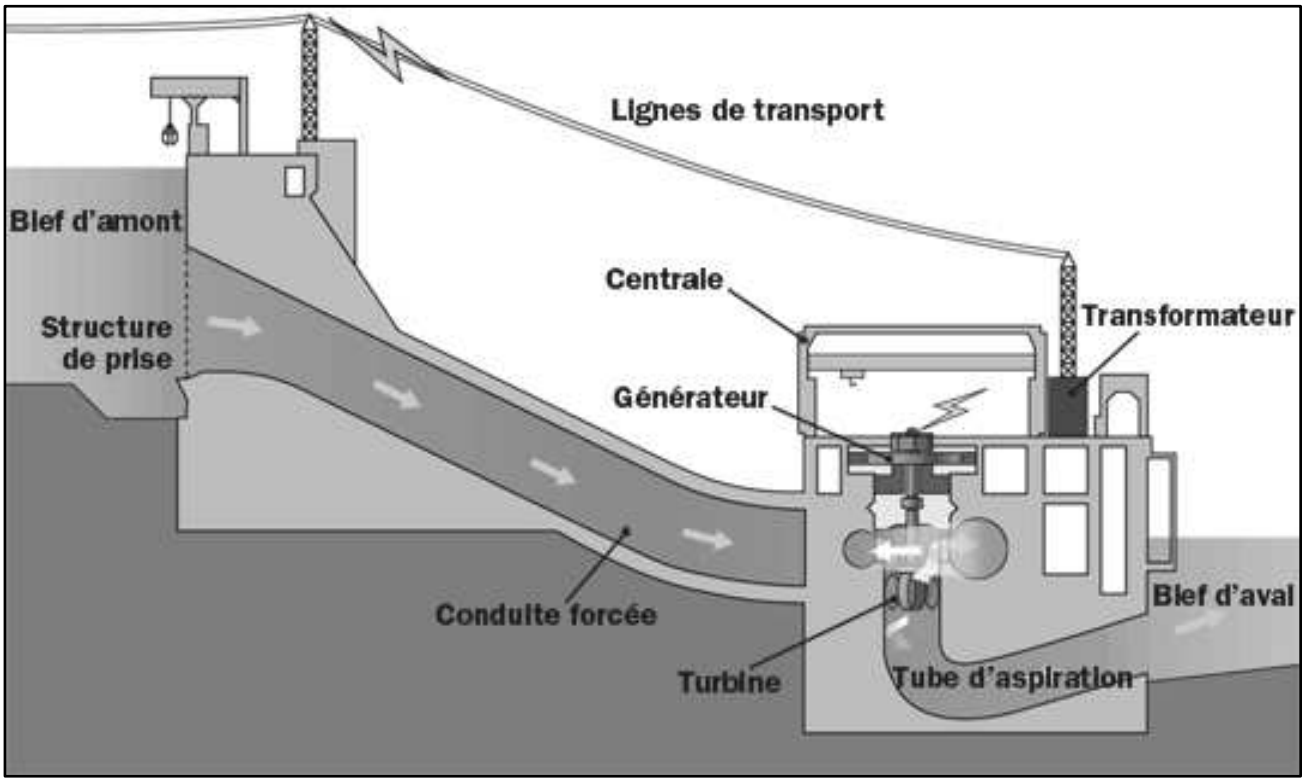
Schéma de l'installation de la microcentrale (vue de dessus)



Document créé pour les besoins de l'épreuve

DOCUMENT 2

Schéma de l'installation de la microcentrale



Source : https://www.nbpower.com/fr/about-us/learning/learn-about-electricity/hydro/

DOCUMENT 3

Synthèse des données hydrologiques de la Vire à Coulonces

La Vire à Coulonces [Le Gast]

SYNTHÈSE : données hydrologiques de synthèse (2002-2021)
Calculées le 09/09/2021 - Intervalle de confiance : 95%

Code Station : I5021020 **Producteur :** DREAL Basse-Normandie

Bassin versant : 142 km^2 **E-mail :** hydro-bn@developpement-durable.gouv.fr

Écoulements mensuels (naturels) - données calculées sur 20 ans

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Débits (m^3/s)	5,680#	5,560#	4,000	2,410	1,760	1,100	0,840	0,906#	0,723#	1,240#	2,770#	5,050#	2,660
Qsp (L/s/km^2)	40,0#	39,2#	28,1	17,0	12,4	7,8	5,9	6,4#	5,1#	8,7#	19,5#	35,5#	18,7
Lame d'eau (mm)	107#	98#	75	44	33	20	15	17#	13#	23#	50#	95#	593

Qsp : débits spécifiques

Modules interannuels (naturels) - données calculées sur 20 ans

Module (moyenne)
2,660 [2,330 ; 2,980]

Fréquence	Quinquennale sèche	Médiane	Quinquennale humide
Débits (m^3/s)	2,000 [1,500 ; 2,300]	2,700 [2,100 ; 3,400]	3,000 [2,700 ; 3,500]

Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé à 95% de chances doit se trouver.

La Vire à Coulonces [Le Gast]

Basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre) - données calculées sur 20 ans

Fréquence	VCN3 (m^3/s)	VCN10 (m^3/s)	QMNA (m^3/s)
Biennale	0,300 [0,260 ; 0,350]	0,330 [0,290 ; 0,390]	0,440 [0,360 ; 0,530]
Quinquennale sèche	0,240 [0,190 ; 0,270]	0,260 [0,210 ; 0,300]	0,320 [0,250 ; 0,390]
Moyenne	0,318	0,348	0,465
Écart type	0,103	0,108	0,174

Maximums connus (par la banque HYDRO)

Débit instantané maximal (m^3/s)	40,10#	16/12/2011 10:00
Hauteur maximale instantanée (mm)	2360	16/12/2011 10:00
Débit journalier maximal (m^3/s)	28,50#	16/12/2011

La synthèse étant effectuée sur la chronique complète de données (station ET stations antérieures comprises s'il en existe), la hauteur maximale connue affichée peut provenir d'une station antérieure

Débits classés - données calculées sur 7067 jours

Fréquences	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
Débits (m^3/s)	12,50	11,00	8,400	6,080	4,060	2,970	2,200	1,690	1,280	0,949	0,681	0,437	0,349	0,301	0,259

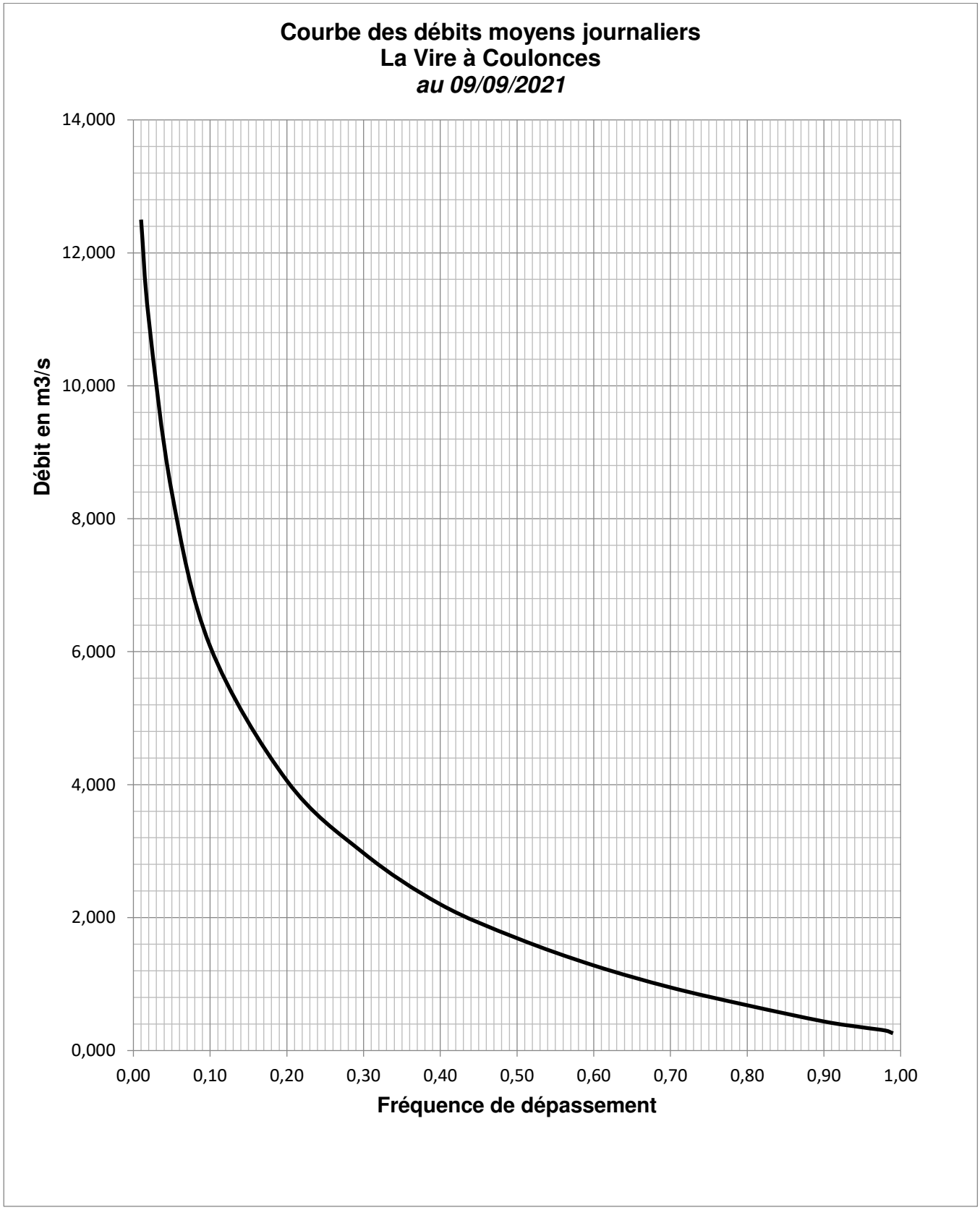
Stations antérieures utilisées

Pas de station antérieure

Le signe # indique que la valeur est estimée par le gestionnaire de la station.

DOCUMENT 4

Courbe des débits moyens journaliers de la Vire à Coulonces



DOCUMENT 5

Formulaire

Formule de Manning-Strickler pour le calcul du débit dans une conduite circulaire en charge :

$$Q = K_S \times (D/4)^{2/3} \times S \times I^{1/2} \quad \text{avec}$$

- Q : débit en m^3/s
- K_S : coefficient de Strickler en $m^{1/3}/s$
- D : diamètre intérieur en m
- I : perte de charge unitaire en m/m
- S : section en m^2

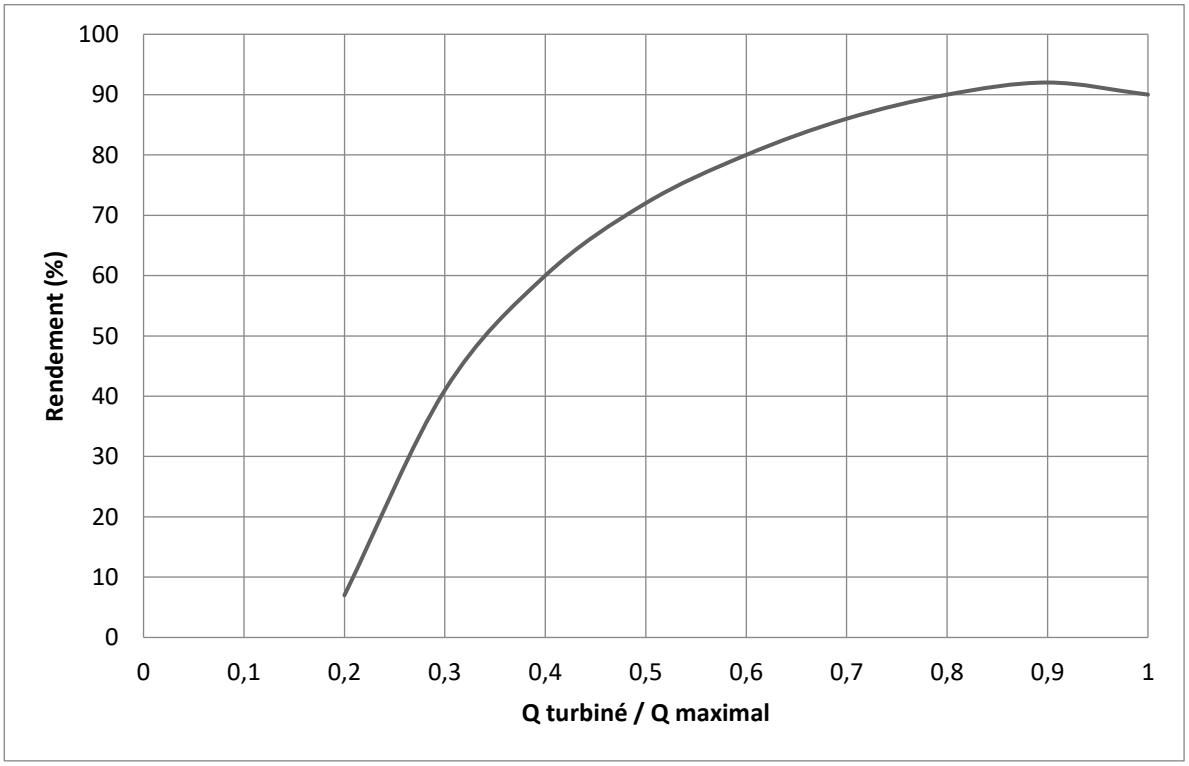
La **Puissance Nette** (PN) développée par une turbine dépend du débit turbiné, de la hauteur de chute, des pertes de charge dans la conduite forcée, du rendement de la turbine et du rendement de l'alternateur.

Vous considèrerez : **PN = 117 x Q x η** avec :

- PN en kW
- Q : débit turbiné en m^3/s
- η : rendement de la turbine

DOCUMENT 6

Courbe de rendement de la turbine Francis



Document créé pour les besoins de l'épreuve

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

NOM :

(EN MAJUSCULES)

Prénoms :

Date de naissance :

EXAMEN :

Spécialité ou Option :

EPREUVE :

Centre d'épreuve :

Date :

N° ne rien inscrire

N° ne rien inscrire

ANNEXE A ***(à compléter, numéroter et à rendre avec la copie)***

Question 10

Caractérisation des configurations de turbinage pour un débit total turbiné de 1 200 L/s

	Turbine	Débit turbiné (L/s)	Rendement de la turbine (%)	Puissance nette (kW) par turbine	Puissance nette de la microcentrale (kW)
Configuration 1	T-600	600	90	63,2	
	T-1 000	600			
Configuration 2	T-600	400			
	T-1 000	800			
Configuration 3	T-600	200			
	T-1 000	1000			

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.