



Exercice transport énergie hydraulique Compétences: CO2.1, CO4.1, CO5.1

La société HYDREL

Située au Buisson de Cadouin, dans le département de la Dordogne

(24), la société HYDREL est spécialisée dans la conception et la réalisation d'ouvrages destinés au traitement de l'eau potable, à l'épuration des eaux usées et à l'irrigation.

Elle intervient auprès des collectivités locales, des syndicats de communes et des industriels en Aquitaine, Poitou-Charentes, Limousin et Midi-Pyrénées.

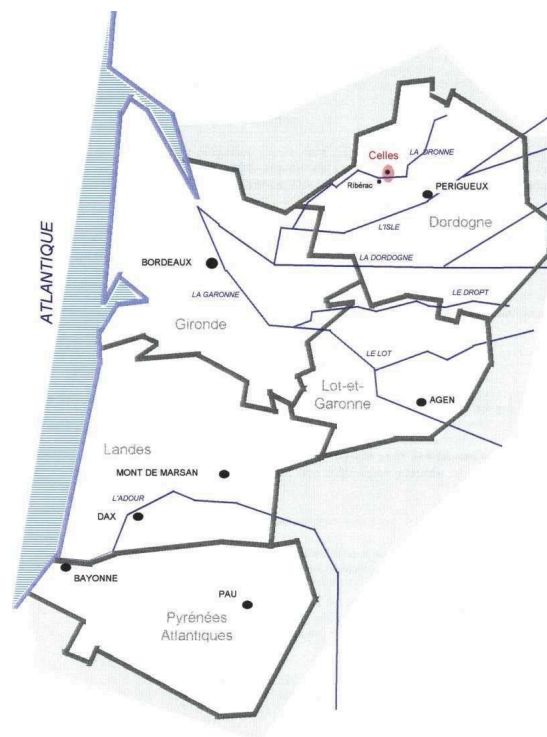
Réseau d'irrigation de Celles et La Tour Blanche

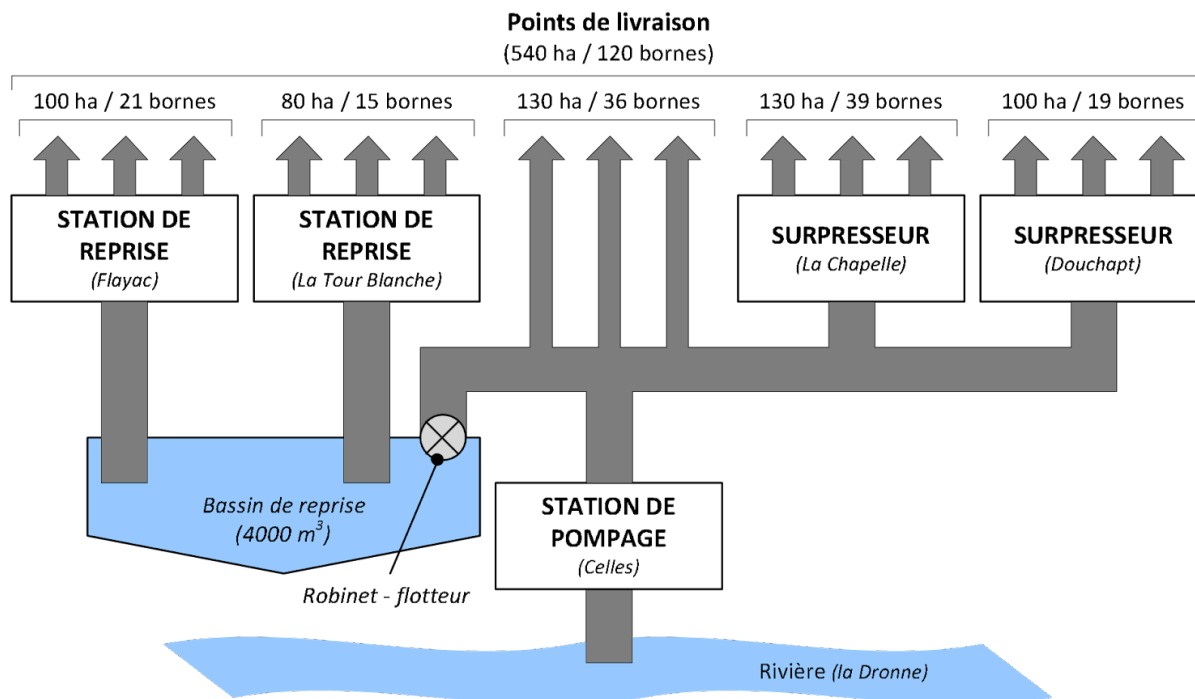
Une des réalisations de la société HYDREL est un réseau d'irrigation implanté sur les communes de Celles et la Tour Blanche, près de la rivière la Dronne, en Dordogne. Ce réseau dessert dix-huit communes appartenant à quatre cantons.

La mise en place du réseau d'irrigation a été la volonté de trente exploitants agricoles, producteurs de maïs. En effet, le déficit hydrique de la région, pendant les périodes estivales, oblige les agriculteurs à irriguer leur culture afin d'améliorer les rendements.

Le réseau dessert 120 points de livraison d'eau répartie sur une bande de 25 km de long sur 5 km de large, permettant d'irriguer annuellement une surface de 540 ha.

Etant donné la superficie équipée, pour éviter un surdimensionnement du matériel, le réseau est constitué de : une station de pompage (Celles), deux stations de reprises (Flayac et LaTour Blanche), deux stations de surpression (La Chapelle et Douchapt).





Les points de livraison sont des bornes d'irrigations destinées à assurer la livraison de l'eau sous pression en remplissant les fonctions suivantes : réguler la pression à 10 bars, limiter les débits à $2,5\text{m}^3/\text{h}/\text{ha}$.

La station de pompage

Afin de répondre au mieux à la demande, c'est-à-dire pouvoir fournir une pression la plus constante possible quel que soit le débit, la station est régulée en pression. Cette régulation est assurée par un automate programmable industriel Télémécanique type TSX 37 qui pilote les pompes via des moteurs asynchrones triphasés.

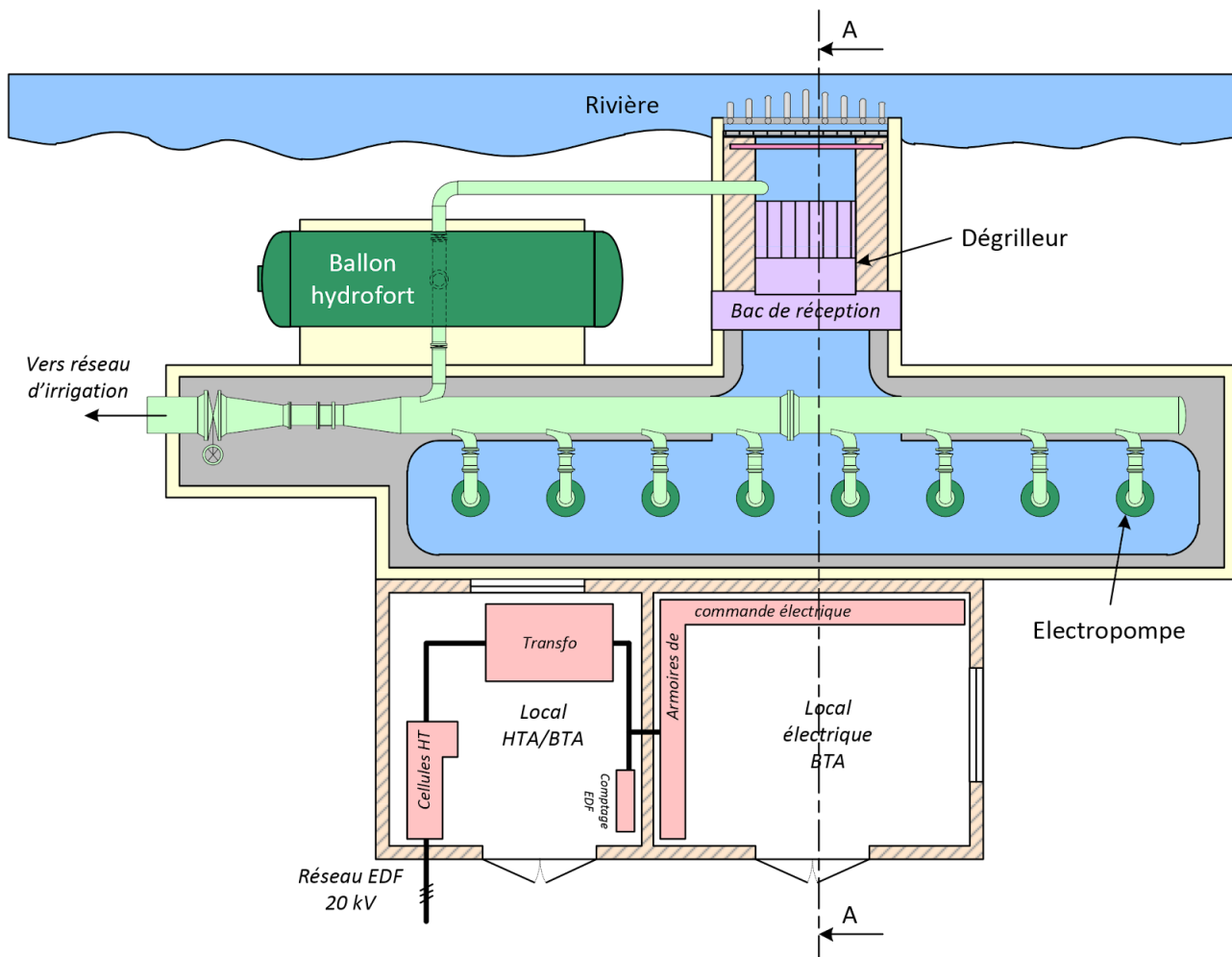
La station est composée de huit groupes électropompes.



Un ballon hydrofort, d'un volume total de 9 000 litres, assure une protection anti-bélier et limite le nombre de démarrages dans les petits débits ($< 50\text{m}^3/\text{h}$).

De plus, cette station possède un dégrilleur automatique qui permet d'éviter les colmatages par les feuilles et autres débris.

Vue de dessus de la station de pompage :



Fonctionnement de la station de pompage

Les sous stations de reprises ou de surpressions restent transparents pour le fonctionnement de la station de pompage. Elles permettent simplement de compenser les pertes de charges pour éviter des chutes de pression trop importantes en bout de réseau, et ainsi réduire la pression de régulation en sortie de la station de pompage.

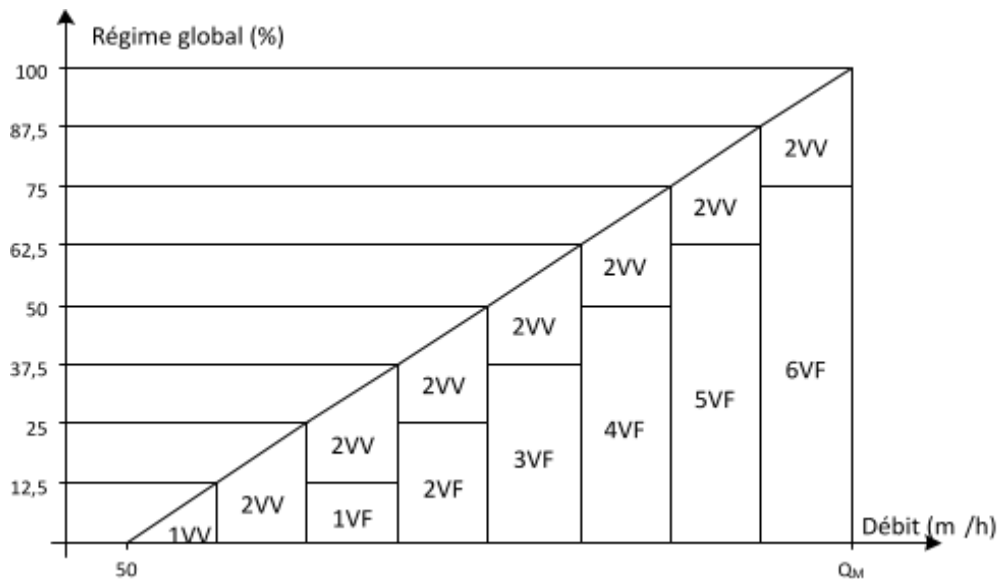
La station comporte donc des groupes électropompes fonctionnant à vitesse fixe et d'autres à vitesse variable, à savoir :

6 groupes à vitesse fixe (VF),

2 groupes à vitesse variable (VV), soit huit groupes électropompes de puissance identique.

La mise en marche des différents groupes électro-pompe à vitesse variable (VV) et à vitesse fixe (VF), se fait en fonction du débit (Q), pour assurer une pression (p) la plus constante possible en sortie de la station.

Le déclenchement des pompes est le suivant :



3

Lorsque les deux groupes à vitesse variable fonctionnent simultanément, leur régime est alors identique. Une permutation des groupes à vitesse fixe est prévue pour éviter l'usure prématurée d'un groupe par rapport à un autre. Ainsi, c'est toujours la pompe qui n'a pas fonctionné depuis le plus longtemps qui sera mise en marche.

C'est l'automate programmable industriel (API) qui donne les ordres de marche et d'arrêt des groupes électropompes et qui gère la permutation du fonctionnement des pompes. Il donne aussi l'ordre d'arrêt de la station en cas de détection des défauts suivants :

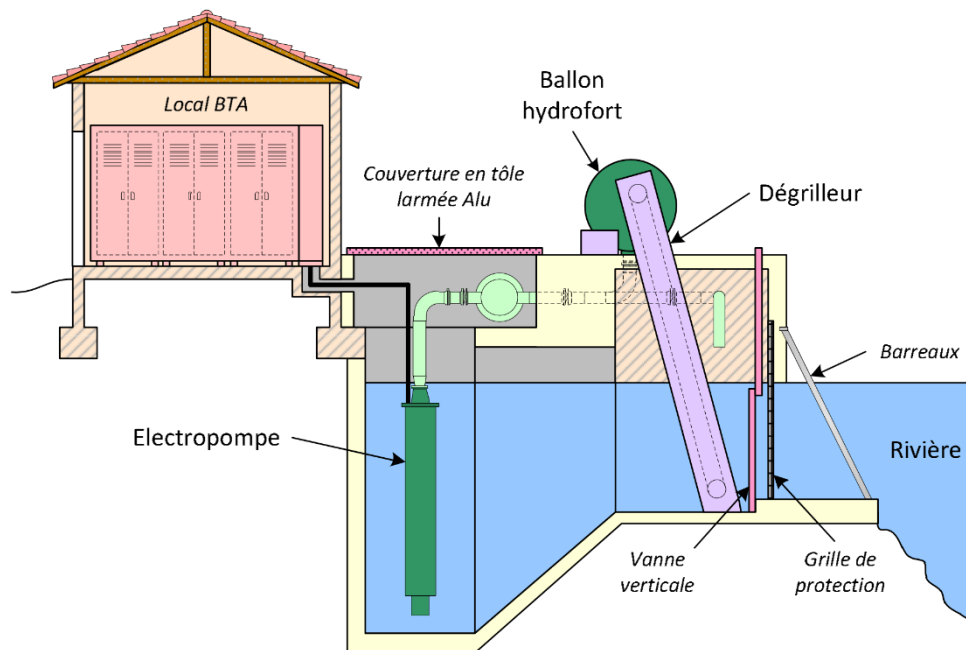
manque d'eau, pression trop faible ou trop élevée, débit trop élevé, surchauffe des moteurs, baisse de puissance absorbée par les électropompes à vitesse fixe.

Une dernière fonction est assurée par l'API, à savoir la gestion du dégrilleur automatique qui est mis en fonction pendant cinq minutes à intervalles réguliers de dix minutes. Cette manœuvre cyclique a deux objectifs : éviter l'obturation de l'entrée des pompes, et éviter le colmatage du dégrilleur lui-même.

Etude hydraulique

Les huit groupes électropompes de la station de pompage, de puissances identiques, sont **immergés** afin de réduire les nuisances sonores et faciliter leur refroidissement.

Vue de côté de la station de pompage (coupe A-A) :



- Q1.** A partir de la présentation du réseau d'irrigation, rappeler les valeurs de :
la surface totale irriguée S (en ha), la pression régulée par les bornes d'irrigation p_B (en bar), le débit limité par les bornes d'irrigation Q_L (en $m^3/h/ha$).
- Q2.** A partir de la limitation de débit des bornes d'irrigations Q_L et de la surface totale irriguée S , calculer le débit utile total Q_T (en m^3/h) de l'ensemble des bornes d'irrigations.
- Q3.** Exprimer ce débit en litre par heure (ℓ/h).
- Q4.** Calculer la puissance hydraulique utile totale P_B (en kW) de l'ensemble des bornes d'irrigations.
- On peut supposer que l'ensemble des canalisations est équivalente à une seule en PVC de diamètre $D=60\text{cm}$ de longueur $l=22\text{km}$ et de hauteur géométrique au refoulement $HGR=55,5\text{m}$
- Q5.** Calculer la vitesse d'écoulement v (en m/s) de l'eau à la sortie de la canalisation.
- Q6.** Rappeler la relation permettant de déterminer la hauteur manométrique totale HMT d'une installation à pompe immergée.

Ce calcul se fait à l'aide de la formule de Lechapt et Calmon (formule empirique) :



$$J = L \times \frac{Q^5}{D^5 N}$$

Avec : **J** : perte de charge en mmce/m
Q : débit en m³/s
D : diamètre en m
L, M, N : coefficients dépendant de la rugosité des canalisations

Les coefficients de rugosité en fonction des matériaux des canalisations sont les suivants :

Matériaux	L	M	N
Fonte	1,4	1,96	5,19
PVC	1,1	1,89	5,01

Q7. Calculer les pertes de charge **J** (en mmce/m) de cette canalisation (garder 4 chiffres significatifs).

Q8. En déduire les pertes de charge au refoulement **P_{cr}** (en mce).

Calcul de la pression

Q9. Rappeler le rapport entre pression en bar et pression en mce.

Q10. En déduire la pression **p_B** (en mce) au niveau de la sortie de la canalisation.

Calcul de la hauteur manométrique totale

Q11. Calculer la hauteur manométrique totale **HMT** (en mce) de l'installation.

Puissance en sortie des pompes

Q12. A partir de la hauteur manométrique totale, déterminer la pression **p_p** (en bar) à la sortie des pompes.

Q13. En déduire la puissance hydraulique totale **P_p** (en kW) à la sortie des pompes.

Choix des pompes 4

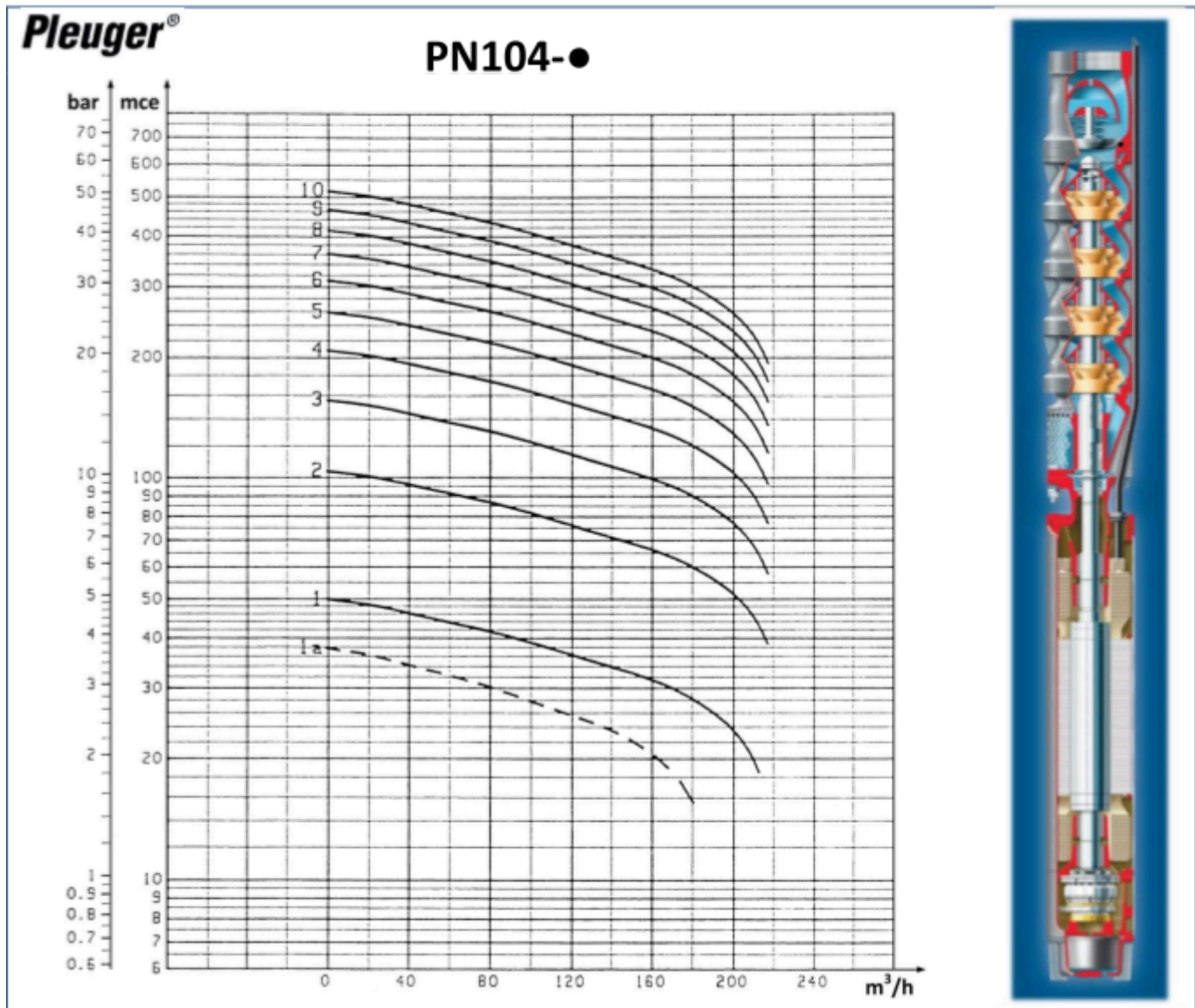


Les pompes étant en parallèle, leur débit s'additionne mais pas leurs HMT.

Q14. Rappeler le nombre de pompes de la station de pompage.

Q15. Dans ces conditions, déterminer le débit Q_p (en m^3/h) et la HMT (en mce) d'une pompe.

Q16. Choisir la référence des pompes à l'aide du document constructeur suivant :

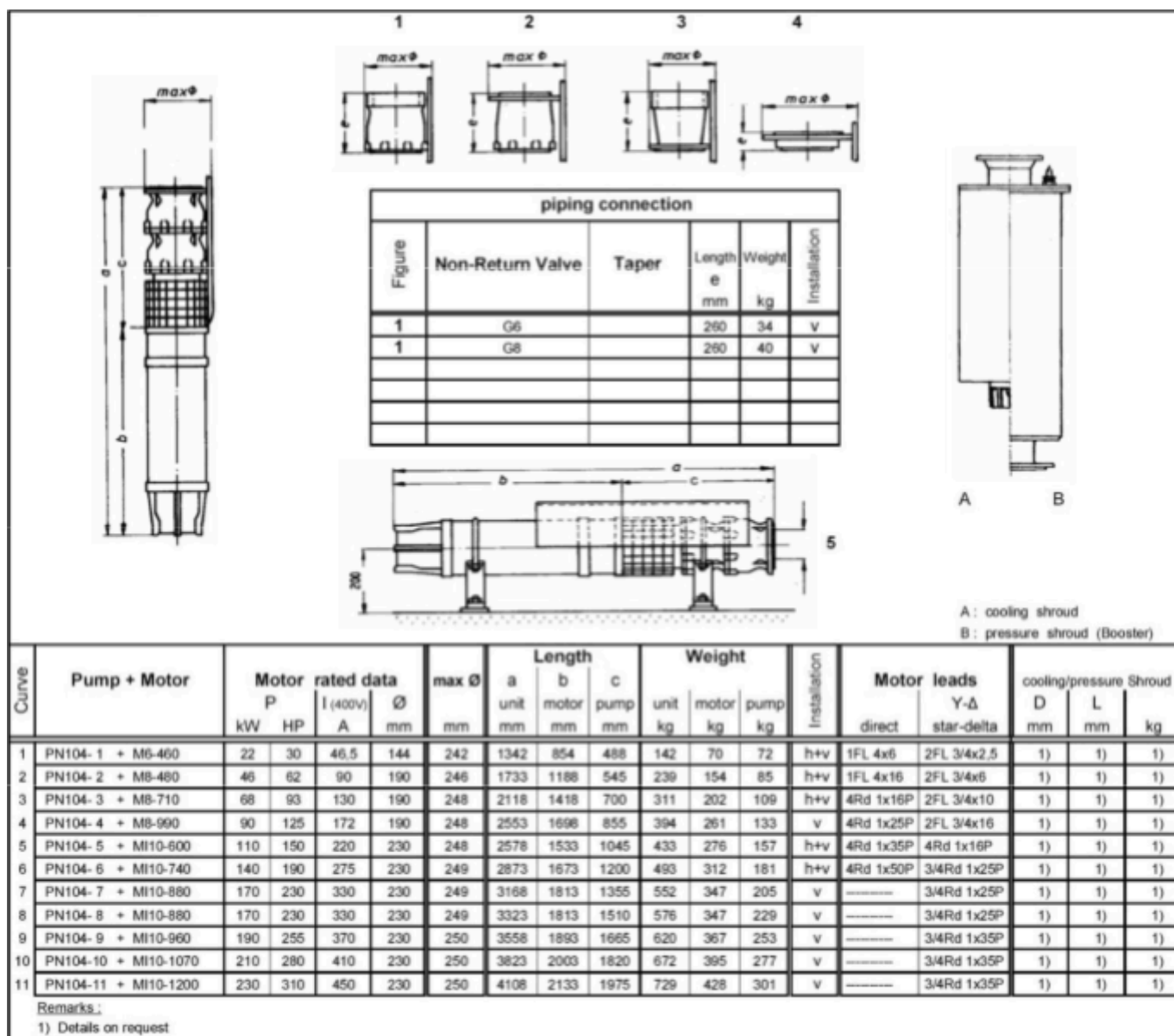


Etude des groupes électropompes

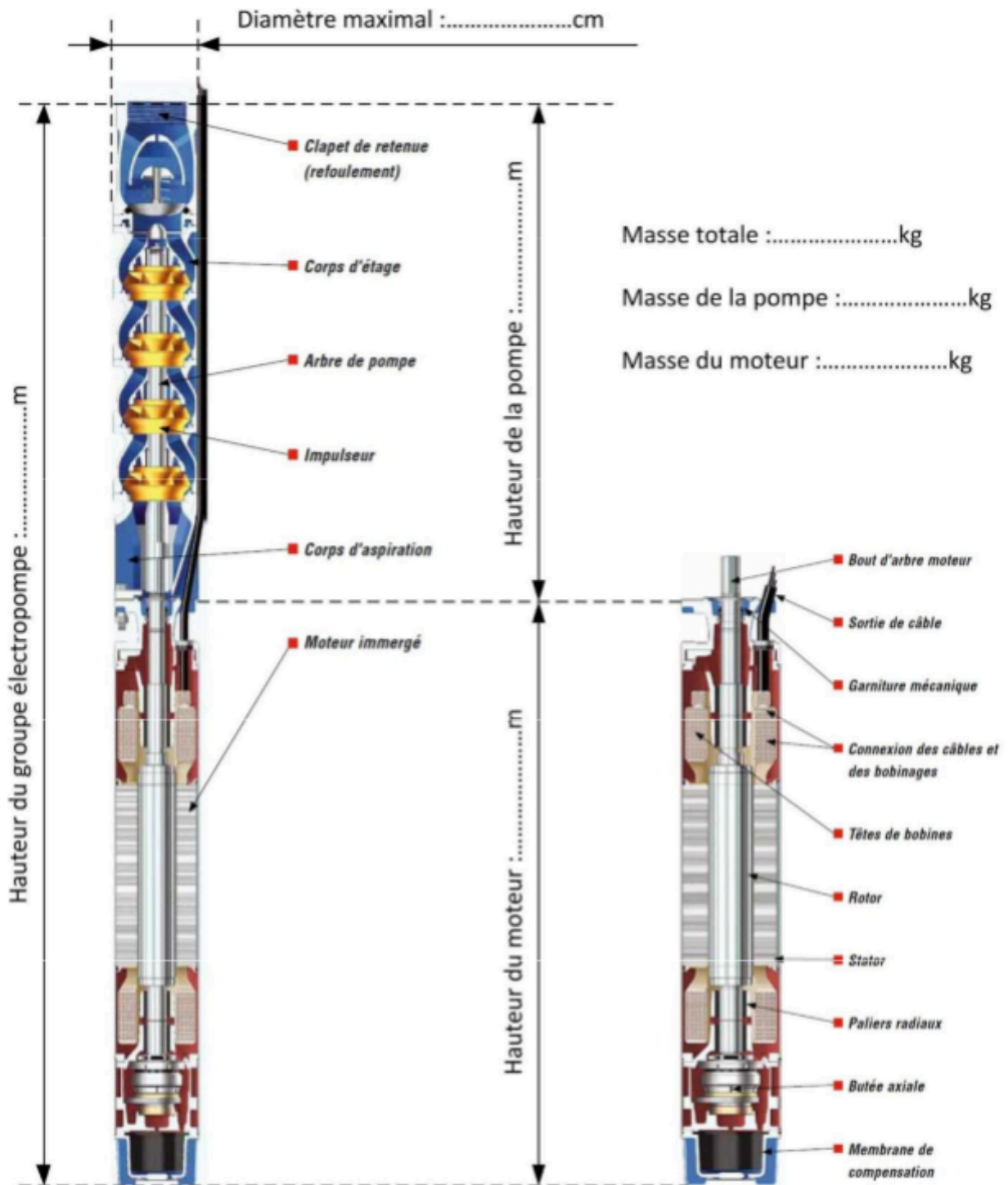
Q17. A partir de la documentation suivante et de la pompe choisie, relever la référence du moteur associé et ses caractéristiques :



Puissance mécanique utile P_M (en kW), tension composée U (en V), courant nominal en ligne I_n (en A).



Q18. Compléter les dimensions d'un groupe électropompe. Préciser les masses.



Q19. Calculer la puissance mécanique totale P_M (en kW) de l'ensemble des moteurs.

Q20. A partir de la documentation suivante relever le rendement (efficiency) du moteur η_M (en %) et son facteur de puissance (power factor) $\cos\phi$ pour un fonctionnement à 100% de sa capacité (1/1)



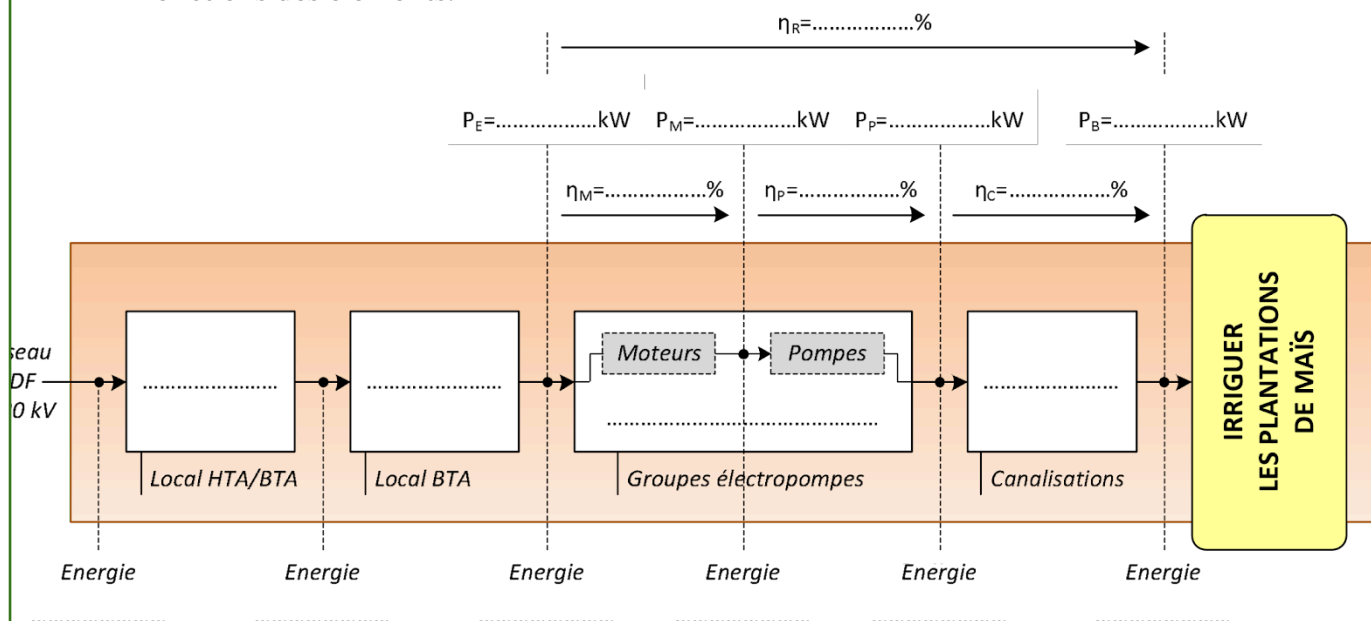
Motortyp Motor type	Leistung Output kW	Strom Current A	Leistungsfaktor Power Factor			Wirkungsgrad Efficiency			Drehzahl Speed 1/min RPM
			1/1	3/4	1/2	1/1	3/4	1/2	
MI10-420	75	151	0,820	0,765	0,660	0,875	0,880	0,875	2880
MI10-490	90	182	0,815	0,760	0,650	0,875	0,880	0,875	2880
MI10-600	110	220	0,820	0,765	0,655	0,880	0,890	0,880	2880
MI10-740	140	275	0,830	0,775	0,665	0,885	0,890	0,880	2880
MI10-880	170	330	0,830	0,780	0,675	0,890	0,895	0,890	2880
MI10-960	190	370	0,830	0,775	0,670	0,890	0,895	0,890	2880
MI10-1070	210	410	0,835	0,780	0,675	0,885	0,895	0,890	2880
MI10-1200	230	450	0,825	0,770	0,660	0,895	0,895	0,890	2885

Q21. En déduire la puissance électrique absorbée par un moteur P_A (en kW). Effectuer ce calcul de deux façons différentes (les moteurs sont alimentés en triphasé).

Q22. Déterminer alors la puissance électrique totale absorbée P_E (en kW) par l'ensemble des groupes électropompes.

Rendements de l'installation

Q23. Compléter la chaîne d'énergie du réseau d'irrigation en précisant :
les natures des énergies, les puissances, les rendements, les fonctions des éléments.





Problème : A partir d'une retenue d'eau construite sur l'Oise, la centrale de Chigny produit de l'électricité vendue à la société EDF. Elle génère ainsi profits et emplois pour sa maintenance (entretien). Voir diagramme des blocs internes en page 4. Nous cherchons à évaluer le chiffre d'affaire de la centrale, issu de la vente de l'énergie électrique produite et nous assurons que sa turbine ne subit pas d'usure prématurée par cavitation. Voir description du phénomène sur ce site web

Recherche du type de turbine adéquat à la centrale

Nous observons pour cela le débit de la rivière, Q_{riv} , présenté en page 3. Par ailleurs, un décret de loi oblige à laisser un débit de réserve, Q_r , égal à 10% du débit moyen de la rivière, afin de préserver l'écosystème environnant. Le débit que la centrale peut alors effectivement utiliser, Q_t , se déduit selon l'expression :

$$Q_{riv} = Q_t + Q_r$$

1. Mesurer la hauteur moyenne, H_m , de la chute d'eau d'après plan de la centrale joint

$$Q_r = 10\% * Q_{riv_moyen}$$

$$Q_t = Q_{riv} - Q_r$$

2. Calculer le débit de réserve et le débit Q_t que la centrale peut exploiter (turbiner).

3. Choisir le type de turbine qui convient et la puissance mécanique qu'elle est susceptible d'exploiter à l'aide de la figure jointe.

$$P_{ch} = \rho * g * Q_t * H_m$$

$$\text{où } \rho = 1000 \text{ kg/m}^3, g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Recherche de la puissance mécanique produite par la turbine

L'expression déterminant la puissance de la chute d'eau est : $P_{ch} = \rho * g * Q_t * H_m$

où ρ égale 1000 kg/m^3 et est la masse volumique de l'eau. g est l'accélération de la pesanteur.

Q_t égale $8 \text{ m}^3/\text{s}$ et est le débit de la chute d'eau. H_m égale 3 m et est la hauteur de la chute d'eau.

4. Calculer la puissance de la chute d'eau, P_{ch} , amenée à la turbine et préciser son unité.

$$P_{mec} = P_{ch} * \text{rendement_turbine}$$

5. Déterminer la puissance mécanique produite par la turbine selon le diagramme présenté.

La turbine risque-t-elle la cavitation ?

Au-delà de 5 tr/s (tours par seconde), la turbine s'use prématurément par cavitation. La vitesse de rotation moyenne de la génératrice GE_1 , est N_g et égale 760 tr/mn. Le coefficient de transmission du multiplicateur de vitesse MU_1 est r et égale 4,3. Voir le diagramme en page 4.

6. Exprimer le rapport de transmission du multiplicateur avec les grandeurs, N_t et N_g , représentées sur le diagramme.



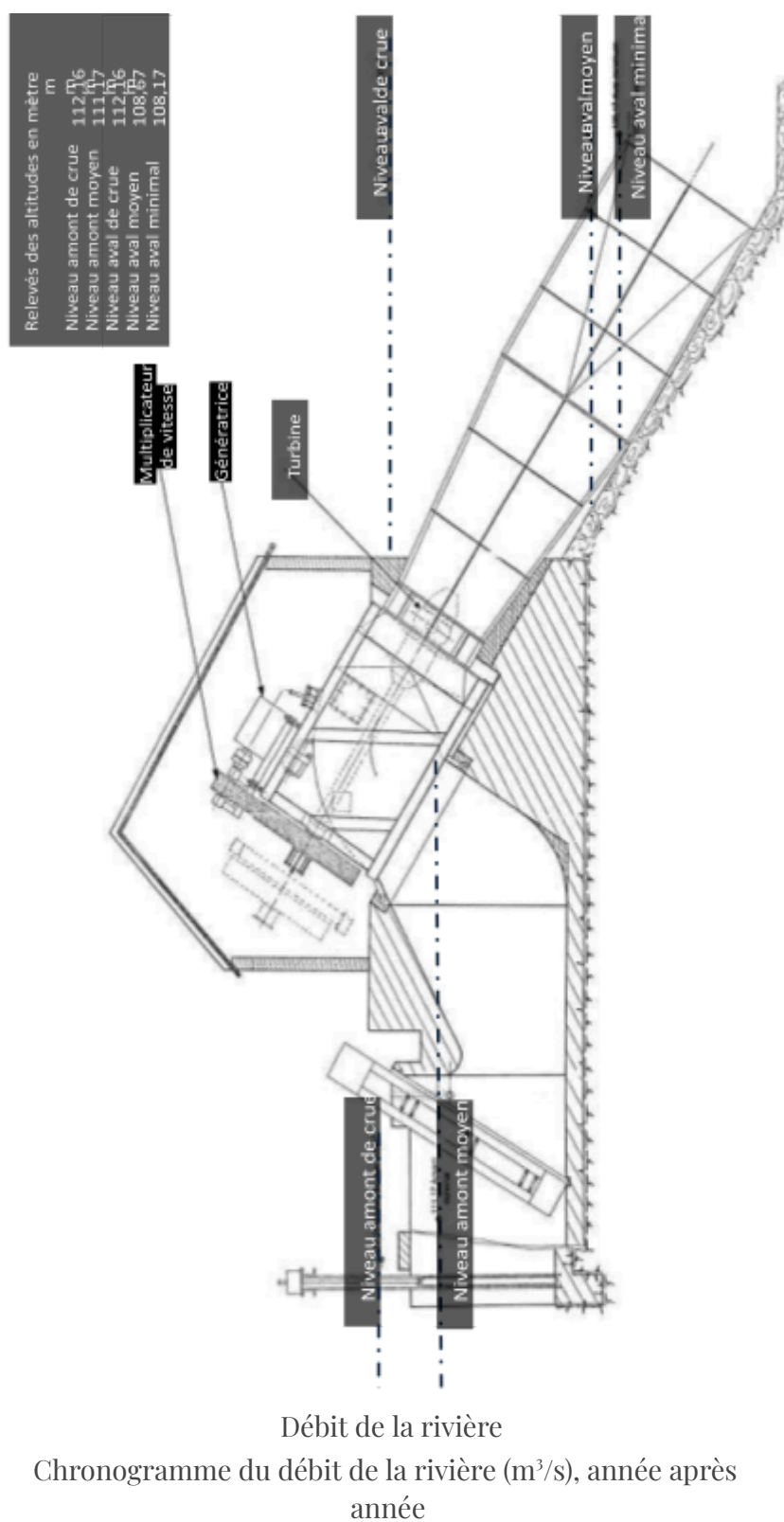
$$r = N_g / N_t$$

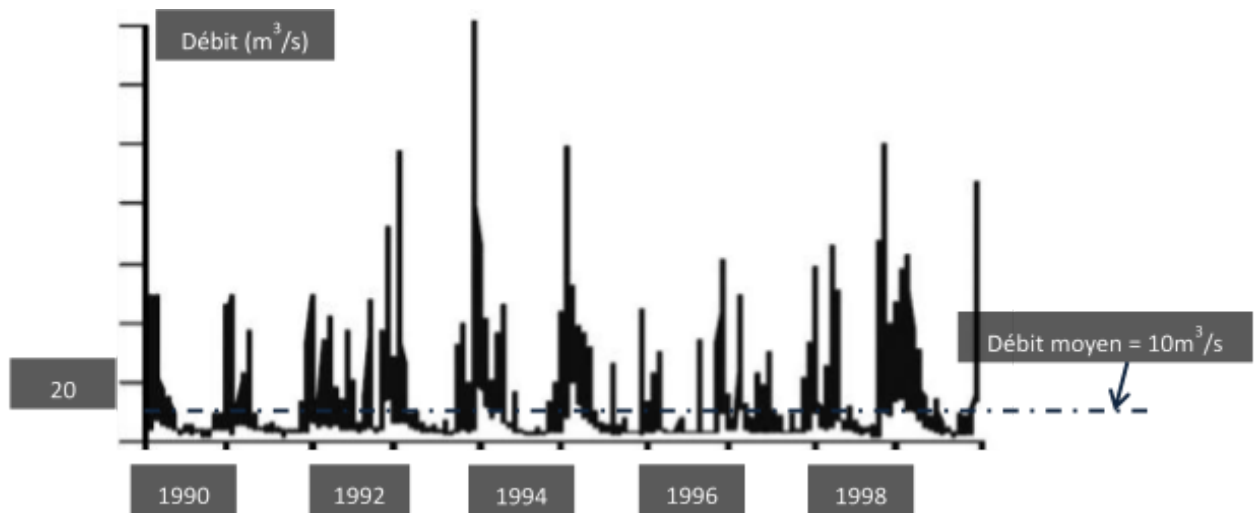
7. Calculer la vitesse de rotation de la turbine, N_t , alors que la génératrice tourne à sa vitesse moyenne.
8. Montrer que la cavitation n'aura pas lieu.

Evaluation du chiffre d'affaire

On exploite le schéma architectural et l'histogramme de la production électrique en page 4 .

9. Déterminer le tarif du rachat de l'énergie électrique emprunté au site web de l'EDF selon la filière correspondante.
10. Evaluer sur l'histogramme en page 4, la puissance et le nombre de jours pendant lesquels le débit est minimal.
11. En déduire l'énergie correspondant à cette période puis celle que produit la centrale au cours d'une année.
12. Evaluer le chiffre d'affaires, ou revenu annuel hors charges, réalisé par la centrale hydroélectrique.





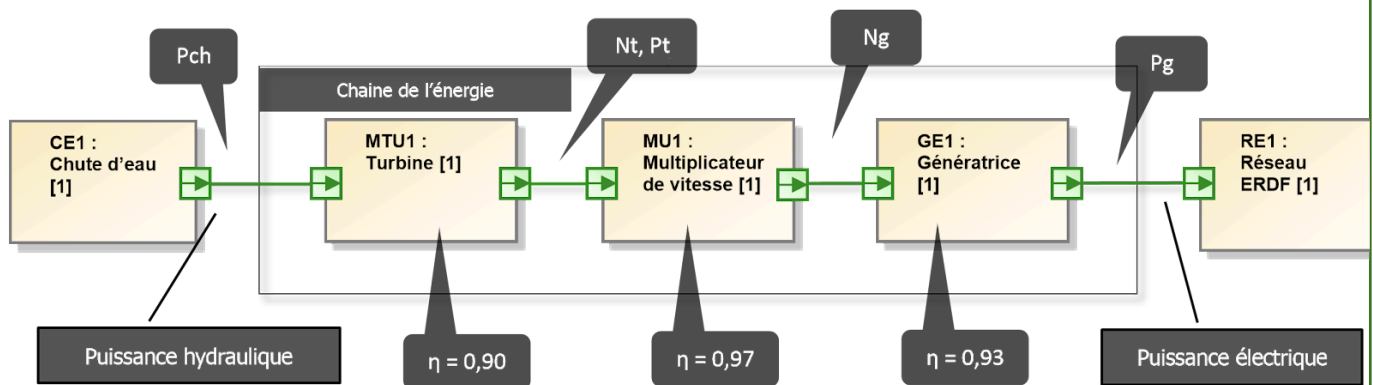
Différentes turbines

Les 3 types de turbines Pelton, Francis ou Kaplan, sont adaptés à des hauteurs de chute d'eau ou des débits différents

Débit dans la turbine (m^3/s)

Diagramme des blocs internes à la centrale

identifie les puissances le long de la chaîne de conversion de l'énergie et le rendement associé à chacun de ses constituants ainsi que les vitesses de rotation de la turbine N_t et de la génératrice N_g





Variation de la puissance électrique produite

Le comptage des journées au cours d'une année selon la production électrique conduit à l'histogramme suivant

