

PARTIE E

ETUDE DU CIRCUIT HYDRAULIQUE DE LA RIVIERE CASCADE

- Mise en situation
- Détermination du débit d'eau dans le lit de la rivière cascade
- Etude du circuit d'alimentation hydraulique de la rivière cascade
- Dimensionnement de la pompe d'un des quatre réseaux hydrauliques

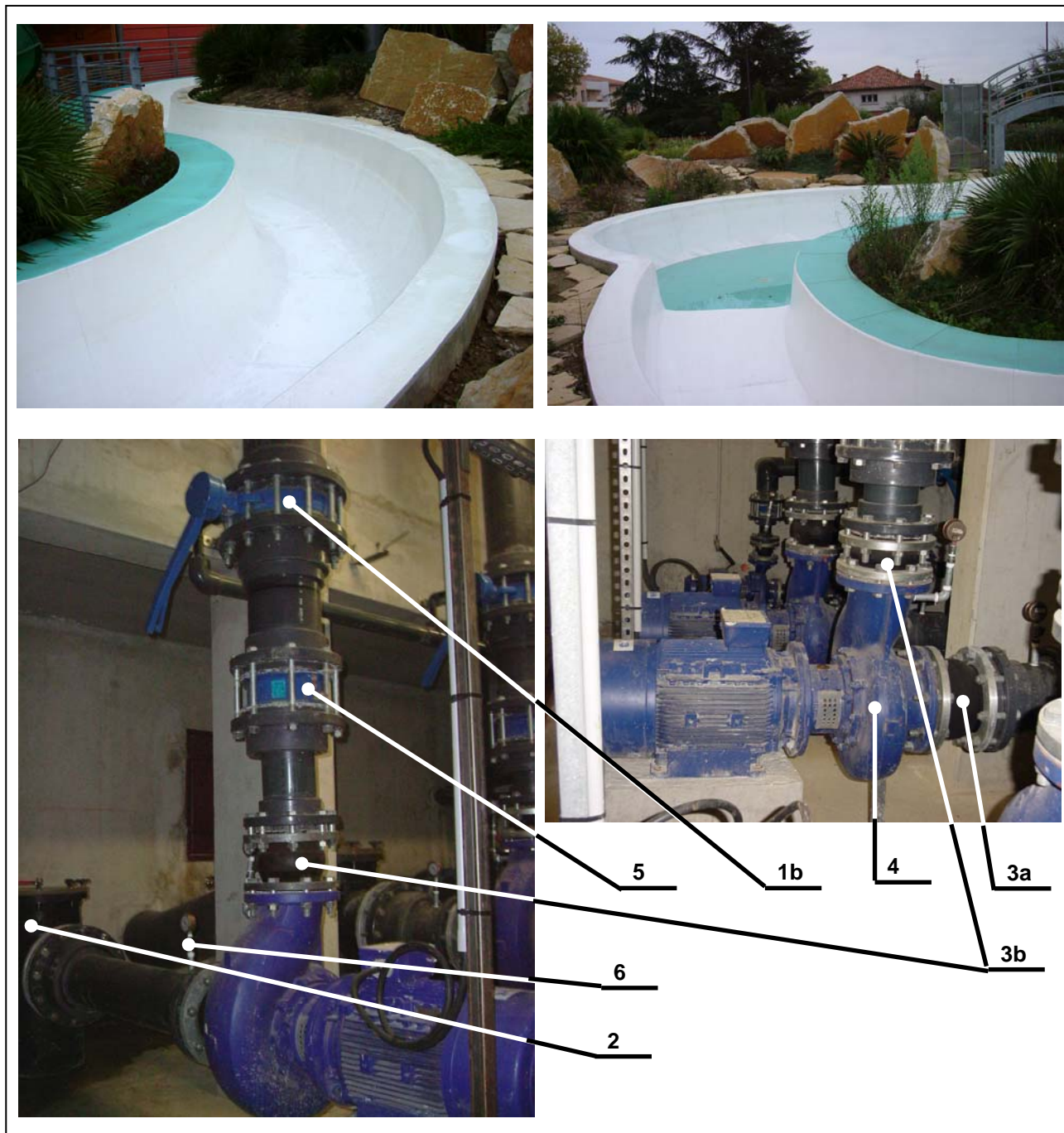
Ce dossier est constitué :

- 13 pages numérotées de E1 à E13 [Questionnement & Documents Réponse]
- 3 pages numérotées de DT E1 à DT E3 [Documents Technique]

Mise en situation :

L'utilisation par le public de la rivière cascade, située à l'extérieur du bâtiment principal, n'est possible que pendant la saison estivale, à partir du mois de mai et jusqu'au mois de septembre. En effet, la circulation de l'eau dans le lit de la rivière à l'air libre extérieur à température basse engendre des déperditions calorifiques ne permettant pas de maintenir l'eau à une température suffisante tout le long de son trajet entre le bassin de départ et le bassin d'arrivée.

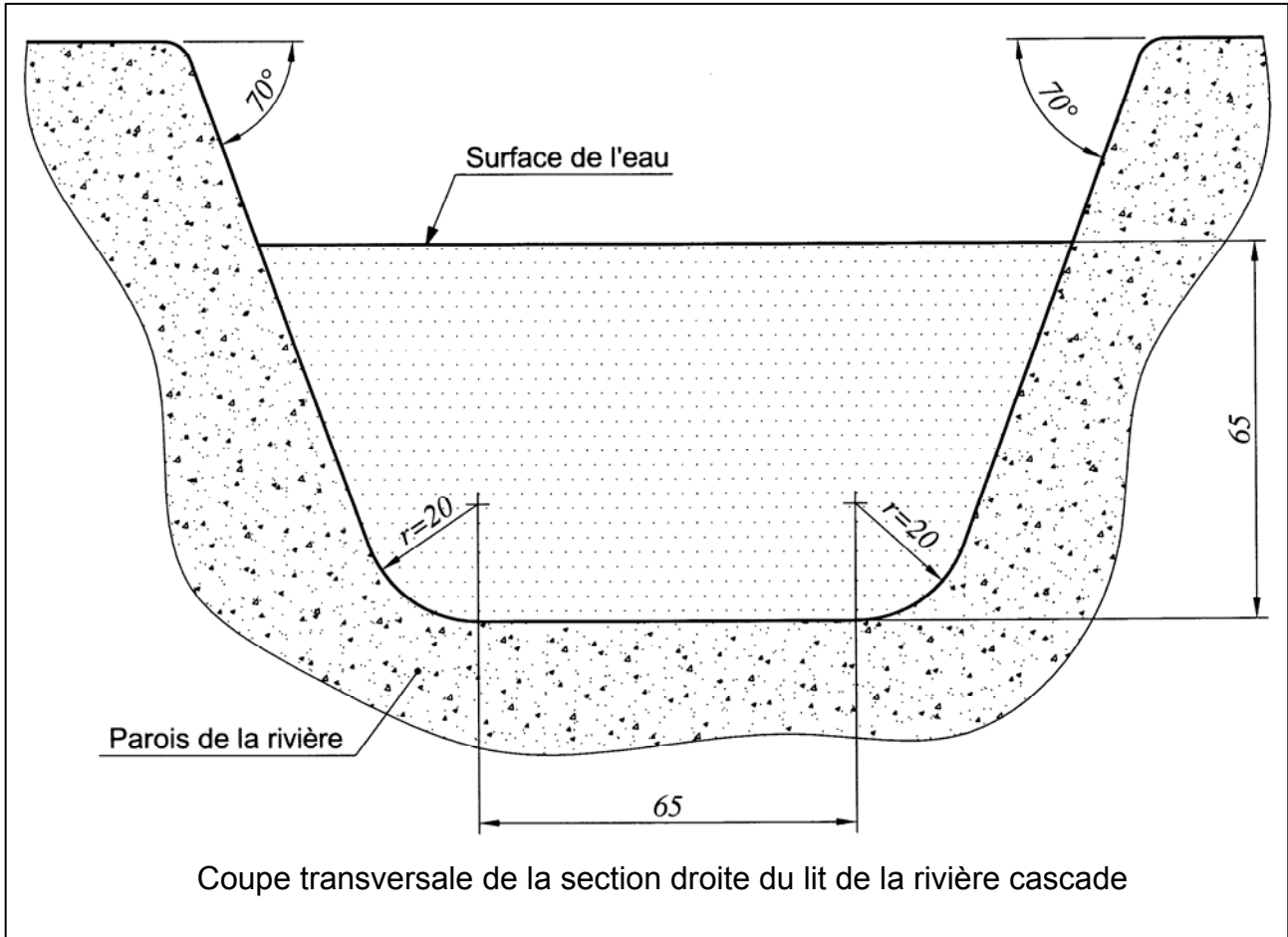
Par ailleurs, le courant d'eau à l'intérieur du lit de la rivière cascade est assuré par un circuit hydraulique constitué de quatre réseaux identiques en parallèles dont le descriptif est proposé sur les documents DT E1 et DT E2 du dossier technique.



Les trois sous-parties E1 ; E2 et E3 sont indépendantes et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre. Cependant, pour une meilleure compréhension, il est recommandé de suivre l'ordre du sujet.

E.1 Détermination du débit d'eau dans le lit de la rivière cascade :

Soit ci-dessous la coupe transversale de la section droite du lit de la rivière cascade entre deux bassins intermédiaires. Par ailleurs, il est précisé que toutes les dimensions de longueur portées sur la figure sont exprimées en centimètre.



D'autre part, la pente moyenne de la rivière cascade est de 4%. Par conséquent, le dimensionnement du circuit hydraulique devra permettre d'obtenir un niveau d'eau dans le lit de la rivière cascade d'une hauteur de 65 cm.

E.1.1 Calculer, ci-dessous, la surface, exprimée en m^2 , de la section droite de la rivière cascade dont la définition est donnée précédemment. On notera cette surface S .



E.1.2. Pour des raisons de sécurité, dans le cadre des jeux aquatiques ouverts au public, il est souhaitable que la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans les rivières cascades ne dépasse pas la valeur suivante : $v_{moy} = 0,75$ m/s.

Calculer le débit volumique d'eau maximal, exprimé en m^3/h , qui peut être déversé dans le lit de la rivière cascade afin de satisfaire la condition d'écoulement donnée ci-dessus. On notera ce débit volumique Q_v .

Formulaire : $Q_v = S \times v_{moy}$

Avec : Débit Q_v en m^3/s ; vitesse moyenne d'écoulement v_{moy} en m/s ; surface de la section droite m^2 .



E.1.3 En admettant que le bassin de départ de la rivière cascade est alimenté en eau avec le débit volumique calculé précédemment, expliquer les conséquences qu'engendreraient une augmentation de la pente moyenne de la rivière cascade.

E.2 Etude du circuit d'alimentation hydraulique de la rivière cascade :

Pour toute la suite de l'étude, quelque soit les résultats trouvés aux questions de la partie **E 1**, nous prendrons un débit volumique d'eau se déversant dans le lit de la rivière cascade égal à : $Q_v = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$. Pour générer ce débit, le choix s'est porté sur la mise en place de quatre réseaux hydrauliques indépendants et identiques en parallèles dont le schéma est représenté sur le document technique DT E1. Par ailleurs, en fonctionnement normal de la rivière cascade, les quatre réseaux hydrauliques fournissent chacun un débit volumique identique à : $Q_{vr} = 500 \text{ m}^3/\text{h}$. D'autre part, le détail d'un réseau hydraulique est précisé sur le schéma de principe du document technique DT E2.

E.2.1 Pour des raisons de perte de charge il est souhaitable que la vitesse moyenne de circulation de l'eau dans les tuyaux de refoulement ne dépasse pas la valeur suivante : $v_{\text{Tuyau}} < 3 \text{ m/s}$.

Dans ces conditions, démontrer que le diamètre intérieur des tuyaux de refoulement s'écrit sous la forme suivante :

$$D > 2 \sqrt{\frac{Q_{vr}}{3 \times \pi}} ; \quad \text{avec : } D : \text{diamètre intérieur du tuyau en m.}$$

$Q_{vr} : \text{débit volumique dans le tuyau d'un réseau en m}^3/\text{s}.$

E.2.2 Calculer le diamètre intérieur minimal du tuyau de refoulement de chaque réseau hydraulique afin de respecter le cahier des charges fonctionnel relatif à la vitesse moyenne de circulation de l'eau dans les tuyaux v_{Tuyau} .

E.2.3 Vérifier, d'après le résultat trouvé précédemment, parmi les dimensions normalisées de tuyau en PVC proposées dans le tableau ci-dessous, si le type de tuyau utilisé pour réaliser la tuyauterie de refoulement des quatre réseaux hydrauliques de la rivière cascade convient.

Diamètre intérieur mm	80	100	125	150	200	250	300	350
Type de tuyau	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200	DN 250	DN 300	DN 350

--

E.3 Dimensionnement de la pompe de chacun des quatre réseaux hydrauliques :

Afin de dimensionner la pompe, on étudie un seul des quatre réseaux hydrauliques dont le schéma de principe est donné sur le document technique DT E2.

De plus, le dimensionnement complet d'un réseau hydraulique impose de calculer la valeur de la hauteur manométrique totale de ce réseau dont l'expression est donnée sur le document technique DT E2.

Par ailleurs, pour déterminer la hauteur manométrique totale d'un réseau hydraulique, il faut prendre en compte les pertes de charge globales. Dans un réseau hydraulique les pertes de charge engendrent une perte de pression (***diminution de la pression***) dans le fluide et elles sont classées en deux catégories :

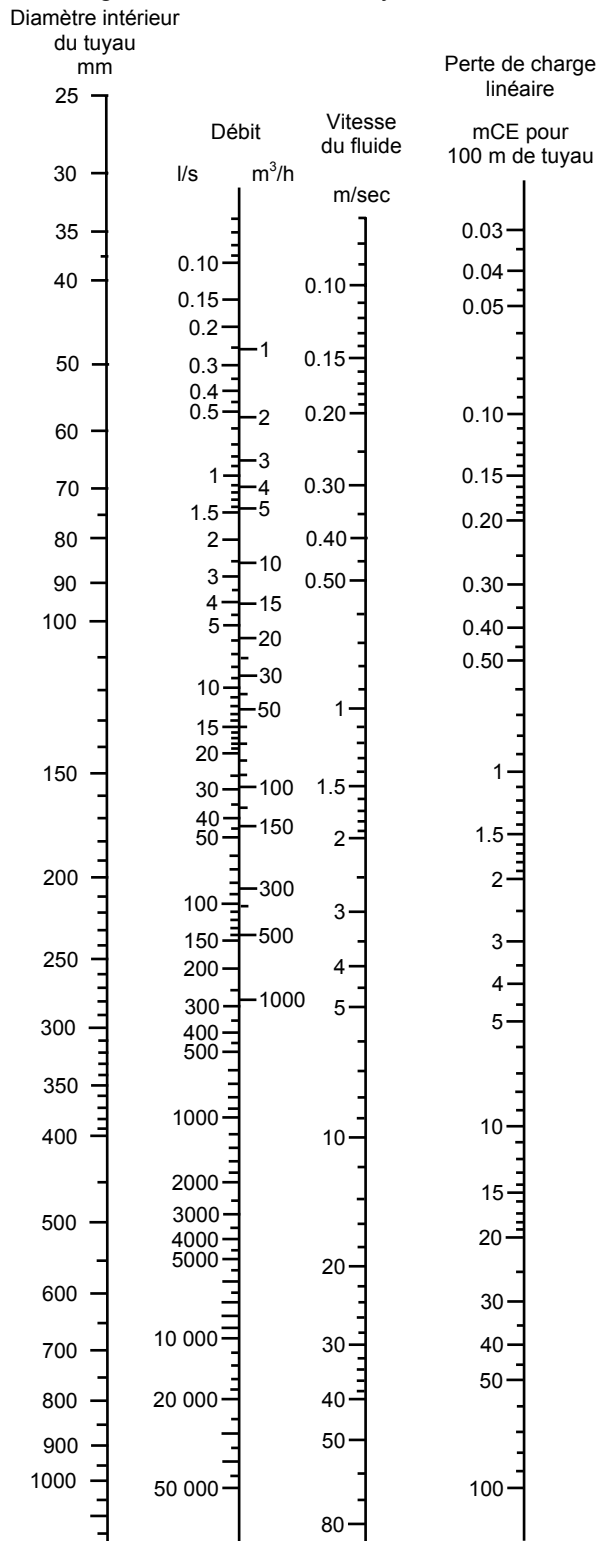
- Les pertes de charge linéaires : Elles proviennent, lorsqu'un fluide circule dans un tuyau, du frottement du fluide sur la paroi du tuyau. On notera ces pertes de charge : Δp_{lin} .
- Les pertes de charge singulières : Elles apparaissent lorsque l'écoulement d'un fluide dans un réseau hydraulique rencontre une singularité de parcours, par exemple : une vanne, un pré-filtre, un clapet anti-retour, etc... On notera ces pertes de charge : Δp_{sin} . Dans un réseau hydraulique les pertes de charge singulières totales sont égales à la somme de toutes les pertes de charge singulières de chaque organe (singularité).

Les parties E.3.2 ; E.3.3 ; E.3.4 peuvent être traitées sans avoir traité la partie E.3.1.

E.3.1 Détermination de la hauteur manométrique totale dans un des quatre réseaux hydrauliques.

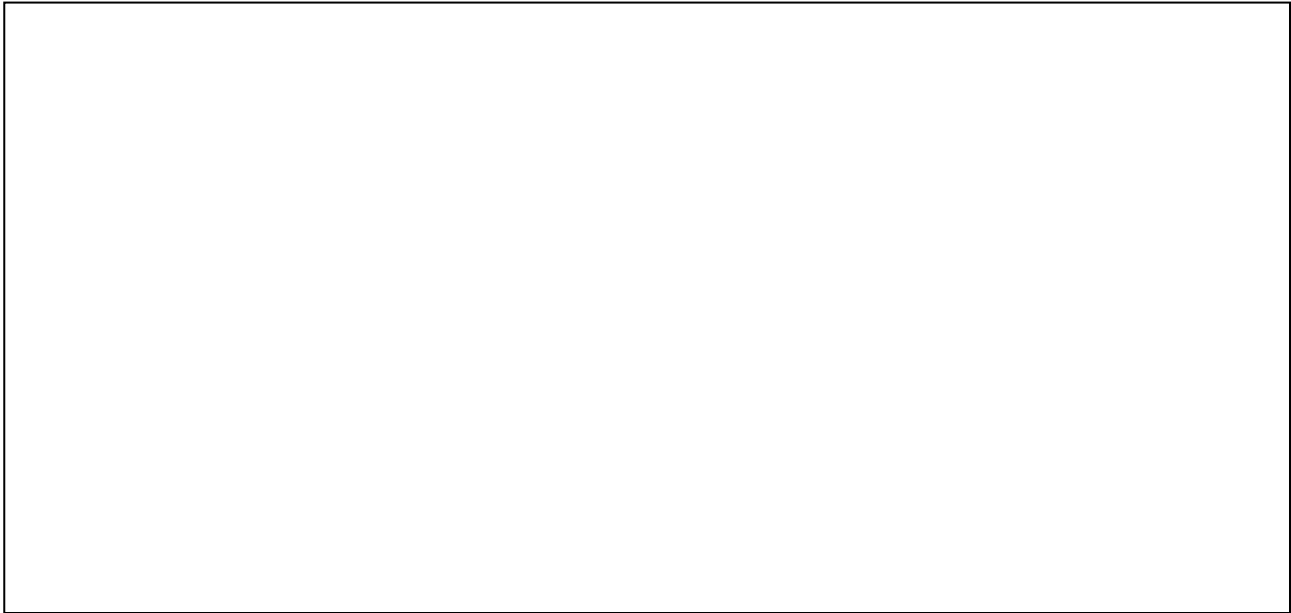
Données :

- Débit volumique d'un réseau hydraulique : $Q_{vr} = 500 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- Accélération de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ [N/kg]}$.
- Poids volumique de l'eau : $\gamma_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \times g = 9\,810 \text{ N/m}^3$.
- Caractéristiques des tuyaux pour chacun des quatre circuits hydrauliques :
 - Aspiration (circuit avant la pompe) : DN 300 en PVC de longueur totale 3 m.
 - Refoulement (circuit après la pompe) : DN 250 en PVC de longueur totale 5,8 m.
- Abaque des pertes de charge linéaires dans des tuyaux en PVC donnée ci-dessous :

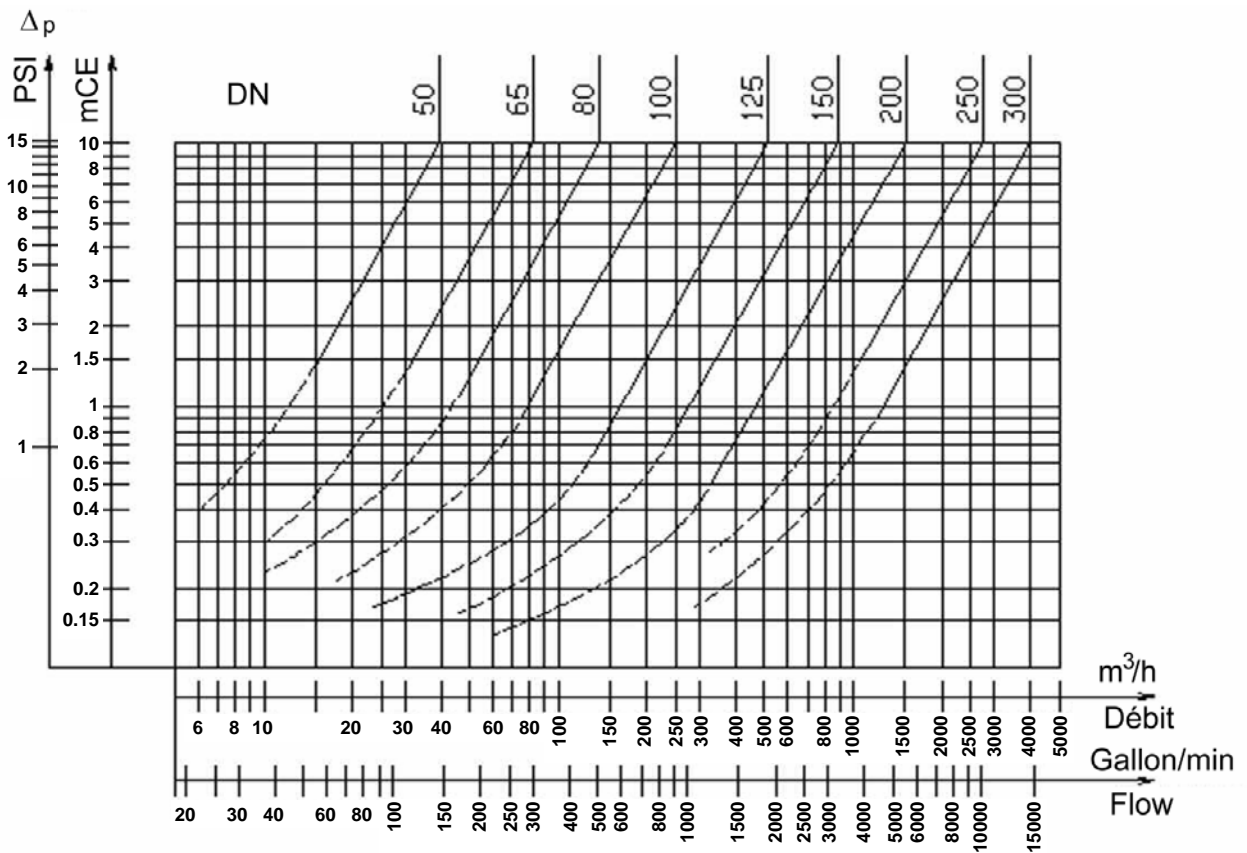


E.3.1.1 Calculer, ci-dessous, après avoir tracé sur l'abaque des pertes de charge linéaires dans des tuyaux en PVC, les pertes de charge linéaires totales en mCE (mètre Colonne d'Eau). On notera ces pertes de charge : $(\Delta p_{lin})_{Totales}$.

Remarque : $(\Delta p_{lin})_{Totales} = (\Delta p_{lin})_{Aspiration} + (\Delta p_{lin})_{Refoulement}$



E.3.1.2 Déterminer, sur l'abaque du constructeur de clapet anti-retour proposée ci-dessous, la perte de charge singulière en mCE (mètre Colonne d'Eau) que ce dernier engendre. On notera cette perte de charge : $(\Delta p_{sin})_{Clapet}$.



On trouve d'après l'abaque ci-dessous : $(\Delta p_{sin})_{Clapet} =$

E.3.1.3 Calculer ci-dessous, avec l'aide du document DT E2, la valeur des pertes de charge singulières en mCE dans le circuit d'aspiration et la valeur des pertes de charge singulières en mCE dans le circuit de refoulement. On notera respectivement ces pertes de charge singulières : $(\Delta p_{\text{sin}})_{\text{Aspiration}}$ et $(\Delta p_{\text{sin}})_{\text{Refoulement}}$.

E.3.1.4 Calculer, ci-dessous, la valeur des pertes de charge singulières totales en mCE dans l'un des quatre réseaux hydrauliques de la rivière cascade. On notera ces pertes de charge singulières totales : $(\Delta p_{\text{sin}})_{\text{Totales}}$.

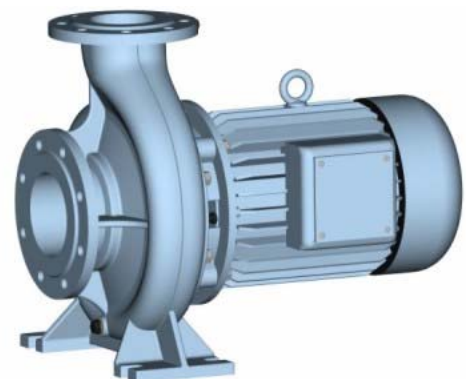
E.3.1.5 Calculer, ci-dessous, la valeur de la hauteur manométrique totale en mCE (dont la formule est donnée sur le document DT E2) dans l'un des quatre réseaux hydrauliques de la rivière cascade en tenant compte de toutes les pertes de charges calculées précédemment. On notera cette hauteur manométrique totale : $(H_m)_{\text{Totale}}$.

E.3.2 Choix du modèle de pompe.

Le type de pompe retenu pour équiper les quatre réseaux hydrauliques de la rivière cascade est choisi dans la gamme des pompes centrifuges monobloc monocellulaires (à une roue) à axe horizontal de la famille « Etabloc » fabriquées par la société KSB dont une version est proposée sur l'image ci-contre.

Les raisons du choix de ce type de pompe sont multiples :

- Performances et capacités adaptées aux forts débits et faibles élévations de pression.
- Fiabilité importante.
- Coûts d'exploitation faibles.



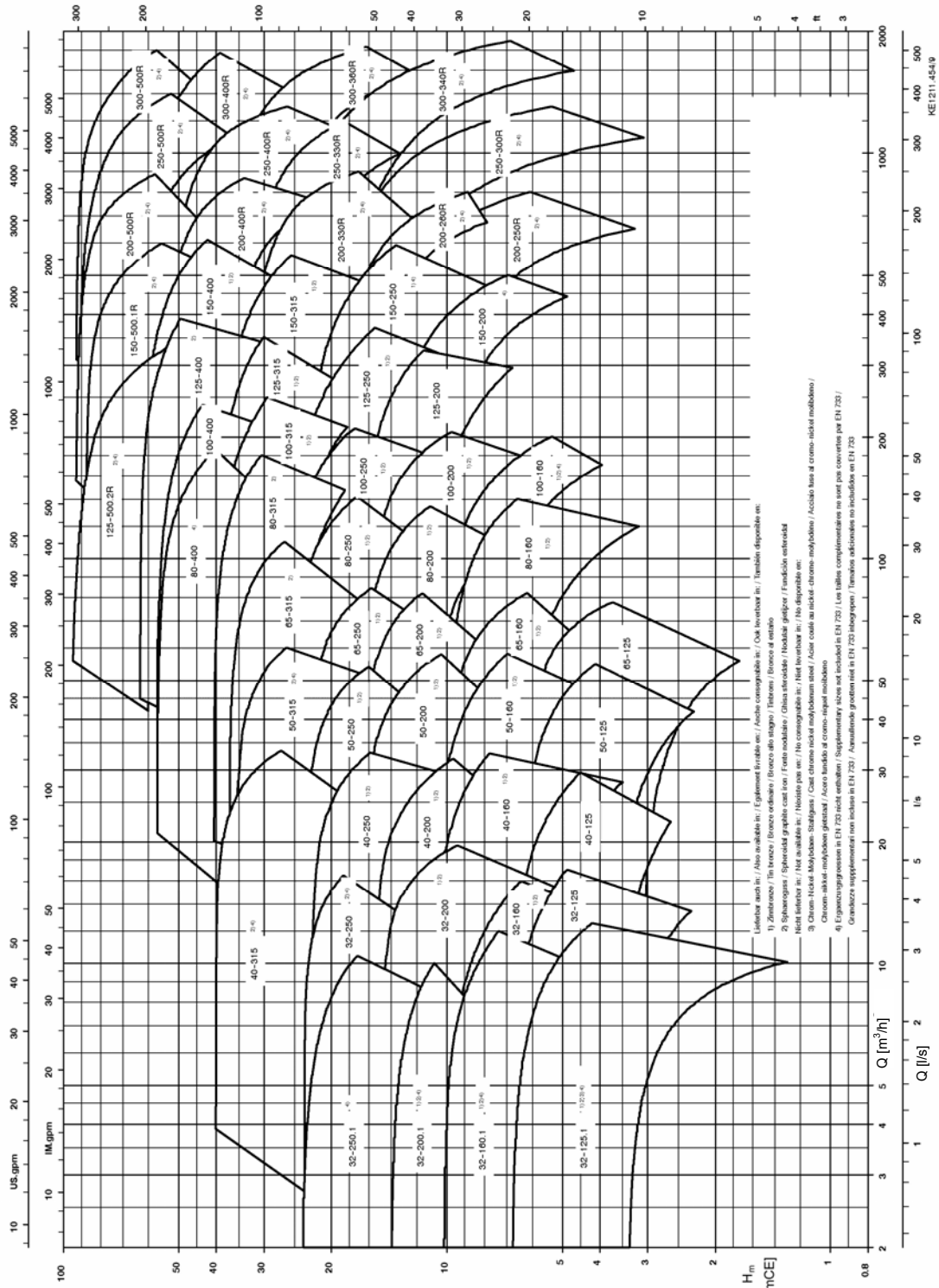
Par ailleurs, étant donné la multitude de modèles différents proposés par le fabricant il faut préciser le modèle exact de pompe qui conviendra le mieux à l'utilisation de la rivière cascade.

E.3.2.1 Sélectionner, sur l'abaque du fabricant de pompe proposée ci-dessous, le modèle de la pompe qui sera choisi pour les quatre réseaux hydrauliques de la rivière cascade sachant que la hauteur manométrique totale de chaque réseau se situe au voisinage de 13,7 mCE.



Etanorm/Etabloc/Etanorm-R

N = 1450 tr/min



On choisi d'après l'abaque ci-dessus une pompe modèle :

E.3.2.2 Déterminer, sur le courbier proposé sur le document technique DT E3, le diamètre de la roue de la pompe.

E.3.3 Etude énergétique des pompes.

A partir de l'équation de Bernoulli, on peut écrire le travail d'échange que doit apporter la pompe à l'eau sous la forme suivante :

$$W_{\text{pompe}} = (p_2 - p_1) + \rho_{\text{eau}} \cdot g(H_2 - H_1) + 0,5 \rho_{\text{eau}} \cdot (v_2^2 - v_1^2) + \Delta p_T$$

W_{pompe} : travail d'échange que doit apporter la pompe à l'eau en J/m^3 .

Δp_T : c'est l'ensemble des pertes de charge en Pa rencontré dans tout le circuit hydraulique (aspiration + refoulement). $\Delta p_T = (\Delta p_{\text{lin}})_{\text{Totales}} + (\Delta p_{\text{sin}})_{\text{Totales}}$.

Remarque : On considérera les vitesses en surface de l'eau nulles, dans le bac tampon ainsi que dans le bassin de départ : $v_1 = v_2 = 0 \text{ m/s}$.

E.3.3.1 Avec l'aide du document DT E2, et sachant que la puissance hydraulique P_{hyd} (en W) apportée à l'eau par la pompe est le produit du travail d'échange de la pompe W_{pompe} (en J/m^3) et du débit volumique d'un réseau Q_{vr} (en m^3/s) ; **démontrer que** :

$$P_{\text{hyd}} = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot (H_m)_{\text{Totale}} \cdot Q_{vr}$$

E.3.3.2 Déterminer la puissance hydraulique P_{hyd} fournie à l'eau par la pompe.

E.3.3.3 Déterminer sur le courbier constructeur (document DT E3) la puissance mécanique absorbée P_{abs} de la pompe.

E.3.3.4 Le courbier constructeur donne une indication du rendement η_{pompe} de la pompe en %. **Déterminer** exactement par le calcul le rendement η_{pompe} de la pompe.

E.3.3.5 Déterminer le couple que doit fournir le moteur à la pompe.

E.3.4 Etude de la non cavitation des pompes.

Le phénomène de cavitation à l'intérieur d'une pompe doit être impérativement évité car il conduit à plus ou moins long terme à la destruction de cette dernière.

Le phénomène de cavitation apparaît lorsque les valeurs minimales de fonctionnement peuvent être atteintes à l'aspiration.

La cavitation consiste dans la formation de cavités de vapeur dans un liquide quand la pression locale est égale ou juste au-dessous de la pression de vapeur du liquide.

Les cavités de vapeur s'écoulent avec le courant et quand elles atteignent une zone de plus grande pression, on a le phénomène de condensation de la vapeur qu'elles contiennent. Les cavités se heurtent en formant des ondes de pression qui se transmettent aux parois, lesquelles soumises à des cycles de sollicitation, se déforment pour céder ensuite par la fatigue. Ce phénomène se caractérise par un bruit métallique, produit par le martèlement auquel sont soumises les parois.

Les conditions de déclenchement de la cavitation peuvent être prévues en calculant la hauteur totale nette à l'aspiration, désignée par le sigle NPSH (Net Positive Suction Head).

Le NPSH représente l'énergie totale (exprimée en m) du fluide mesurée à l'aspiration dans les conditions de début de cavitation, nette de la tension de vapeur (exprimée en m) que le fluide possède à l'entrée de la pompe.

Pour éviter que la pompe ne cavite, il faut que la relation suivante soit vérifiée :

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = H_p + H_z - H_f - H_{pv} \geq \text{NPSH}_{\text{requis}} + 0,5$$

Avec :

H_p : pression absolue qui agit sur la surface libre du liquide dans le réservoir d'aspiration, exprimée en mCE ; H_p est le quotient entre la pression absolue (en Pa) qui agit sur la surface libre du liquide par le poids volumique du liquide.

H_f : perte de charge, exprimée en mCE, dans le tuyau d'aspiration et dans les accessoires équipant la pompe tels que : vannes, coudes, pré-filtres, clapets, etc...

$$H_f = (\Delta p_{\text{lin}})_{\text{Aspiration}} + (\Delta p_{\text{sin}})_{\text{Aspiration}}$$

H_z : différence de niveau entre l'axe de la pompe et la surface libre du liquide dans le réservoir d'aspiration, exprimée mètre ; H_z est négatif quand le niveau du liquide est plus bas que l'axe de la pompe.

H_{pv} : pression de vapeur du liquide à la température de service exprimée en mCE. H_{pv} est le quotient entre la pression de vapeur p_v par le poids volumique du liquide.

0,5 : facteur de sécurité.

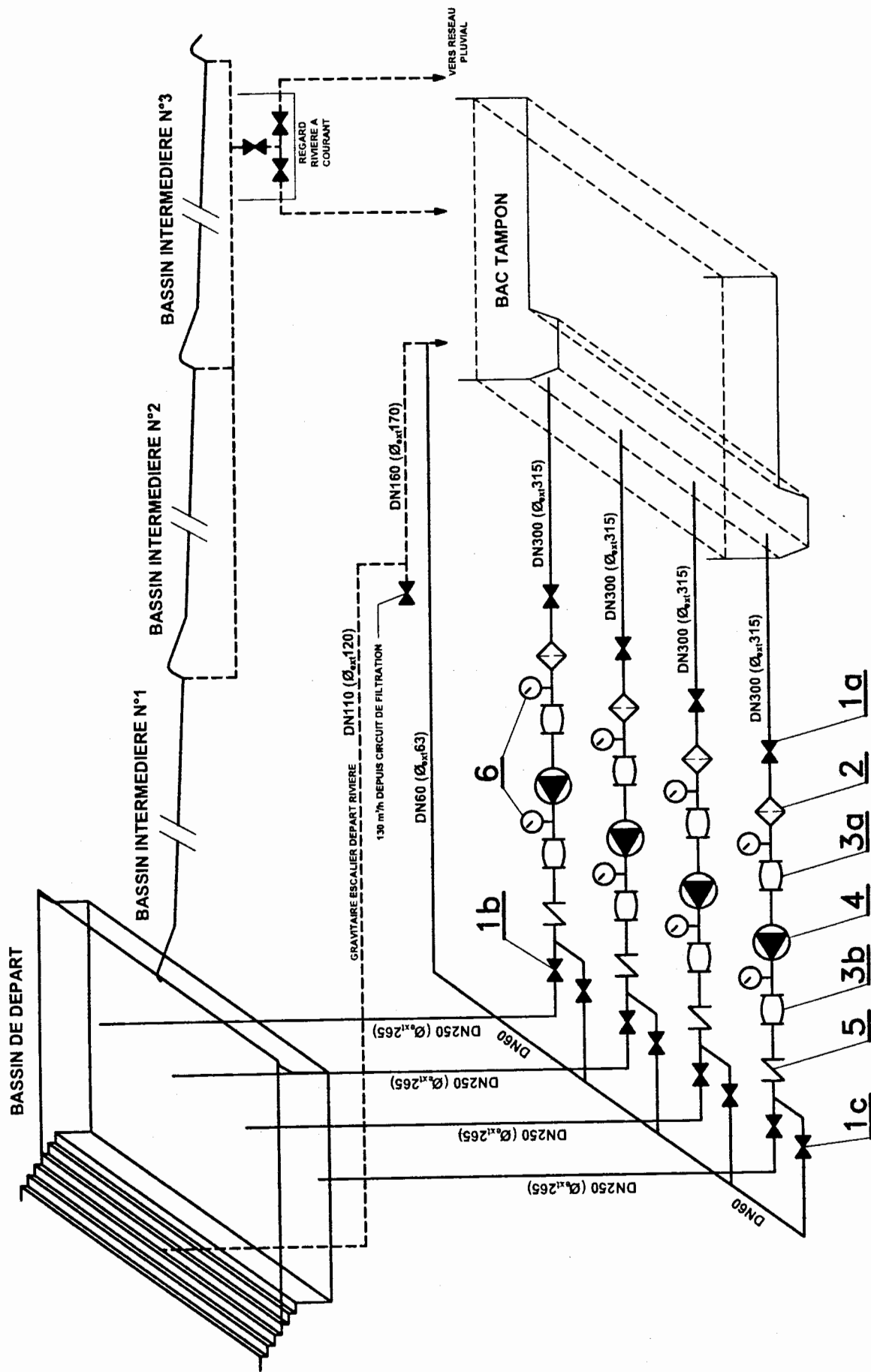
Rappel : Poids volumique de l'eau : $\gamma_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \times g = 9\,810 \text{ N/m}^3$.

E.3.4.1 Que faut-il prévoir au niveau de la conception d'une installation de pompage, pour éviter au maximum le phénomène de cavitation ?

E.3.4.2 Calculer le $\text{NPSH}_{\text{disponible}}$ dans ces conditions d'utilisation. La température de l'eau ne pouvant dépasser 30°C, on prendra pour pression de vapeur $p_v = 2930 \text{ Pa}$.

E.3.4.3 En utilisant les caractéristiques de la pompe données par le courbier constructeur (document DT E3), **déterminer** le $\text{NPSH}_{\text{requis}}$.

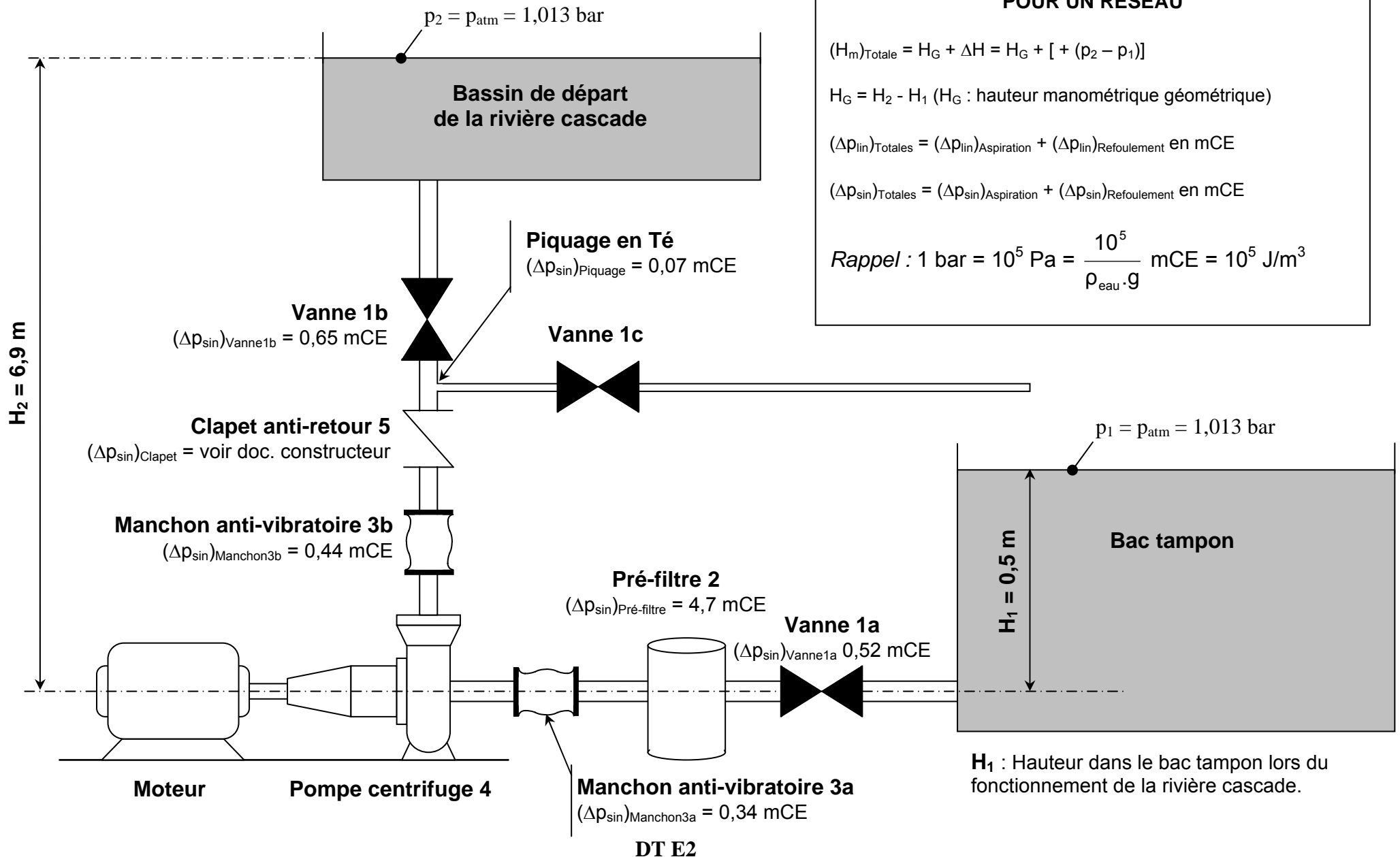
E.3.4.4 La pompe est-elle adaptée au circuit d'aspiration ? Justifier votre réponse.



Circuit Hydraulique de la Rivière Cascade

SCHEMA DE PRINCIPE POUR UN RESEAU

les manomètres ne sont pas représentés.



CALCUL DE LA HAUTEUR MANOMETRIQUE TOTALE POUR UN RESEAU


$$(H_m)_{Totale} = H_G + \Delta H = H_G + [+ (p_2 - p_1)]$$

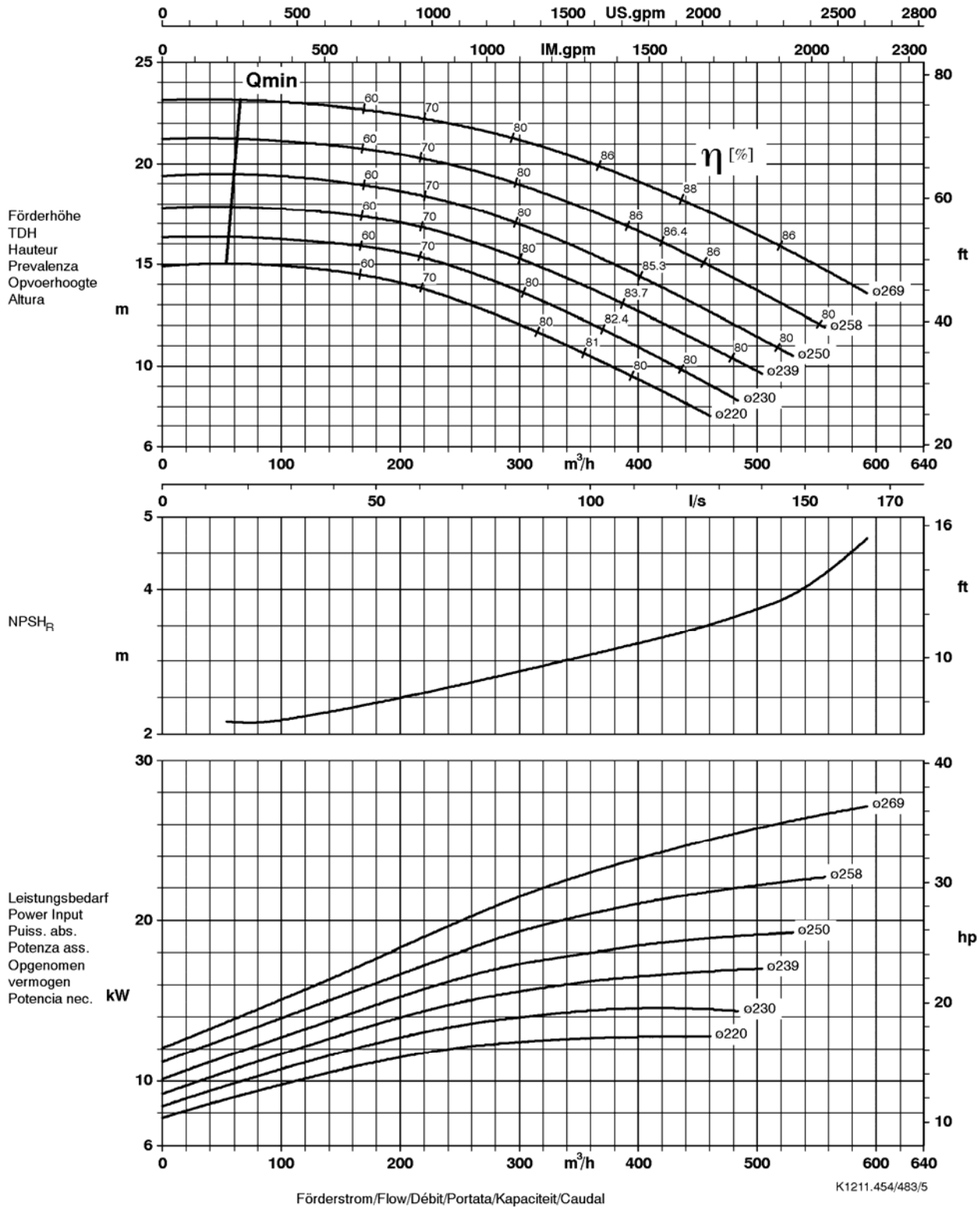
$$H_G = H_2 - H_1 \text{ (} H_G \text{ : hauteur manométrique géométrique)}$$

$$(\Delta p_{lin})_{Totales} = (\Delta p_{lin})_{Aspiration} + (\Delta p_{lin})_{Refoulement} \text{ en mCE}$$

$$(\Delta p_{sin})_{Totales} = (\Delta p_{sin})_{Aspiration} + (\Delta p_{sin})_{Refoulement} \text{ en mCE}$$

Rappel : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = \frac{10^5}{\rho_{eau} \cdot g} \text{ mCE} = 10^5 \text{ J/m}^3$

Baureihe-Größe Type-Size Modèle	Tipo Serie Tipo	Nenn Drehzahl Nom. speed Vitesse nom.	Velocità di rotazione nom. Nominaal toerental Revoluciones nom.	Laufrad- Impeller Dia. Diamètre de roue	o Girante o Waaier o Rodete	 KSB KSB Aktiengesellschaft Unternehmensbereich Pumpen Industrie- und Wassertechnik Postfach 1725, 67225 Frankenthal Joh.-Klein-Str. 9, 67227 Frankenthal
Etanorm 150-250 Etabloc		1450 tr/min				
Projekt Project Projet	Progetto Projekt Proyecto	Angebots-Nr. Project No. No. de l'offre	Offerta-No. Offertenr. Offerta-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.-Nr. Positiernr. Pos.-Nr.	



Laufradaustrittsbreite/Impeller outlet width/Largeur à la sortie de la roue 48.8 mm
 Luce della girante/Waaier uittredbreedte/Anchura de salida rodete 48.8 mm

DT E3