CONCOURS GENERAL DES LYCEES

SESSION 2003

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

GENIE ELECTRIQUE

(Classe de terminale STI)

ELECTROTECHNIQUE

Durée : 6 heures

STATION DE SKI DE "LA FOUX D'ALLOS"
LE SYSTEME "YORK" DE FABRICATION DE LA NEIGE

Ce dossier comprend :

• La présentation du système de fabrication de la neige		Cahier N°1
• L'étude de l'alimentation hydraulique des canons à neige	partie A	Cahier N°2
• Le dimensionnement du moteur d'entraînement de la pompe	partie B	Cahier N°3
• L'étude des automatismes	partie C	Cahier N°4
• La protection du matériel et des personnes	partie D	Cahier N°5
• Un cahier réponse		
• Un plan général au format A2		

IMPORTANT :

L'épreuve se compose de quatre parties, A, B, C et D totalement indépendantes. Chaque partie comprend l'énoncé du travail demandé ainsi que la documentation technique afférente. Dès la distribution des documents, assurez vous que votre dossier est complet.

- ✓ ***Les parties A et B seront traitées par l'ensemble des candidats.***
- ✓ ***Les parties C et D seront traitées "au choix".*** *Chaque candidat optera pour l'une* ***ou*** *l'autre de ces deux parties.*

Vous répondrez uniquement sur le cahier réponse, aux emplacements prévus à cet effet.

CAHIER N° 1 : PRESENTATION

STATION DE SKI DE "LA FOUX D'ALLOS"
LE SYSTEME "YORK" DE FABRICATION DE LA NEIGE

- ✓ Intérêt de la fabrication de la neige de culture
- ✓ Fabrication de la neige de culture
- ✓ La station de "La Foux d'Allos"
- ✓ Le système "York" de fabrication de la neige
- ✓ La zone d'étude sur l'enneigement

Ce dossier de présentation contient les documents suivants :

- 8 pages numérotées de PR 1 à PR 8

INTERET DE LA FABRICATION DE LA NEIGE DE CULTURE

Depuis deux décennies, le tourisme hivernal s'est affirmé comme une composante essentielle de l'économie des zones de montagne, en apportant aux populations des massifs français d'importantes possibilités de développement.

D'abord localisées dans les secteurs de haute altitude, les stations de sports d'hiver ont eu tendance à se multiplier à des altitudes plus basses bénéficiant d'un enneigement naturel moindre.

Le souci majeur des exploitants de domaines skiables reste, sur une période d'ouverture et de fermeture pré-décidée souvent antérieurement, de pouvoir offrir à leur clientèle la garantie de possibilité de pratique du ski et ce, dans des conditions optimum de qualité et de quantité du manteau neigeux.

La production de neige de culture n'est donc pas une fin en soi, mais simplement le moyen d'honorer le contrat moral existant entre le prestataire de service et le client. Cette production doit se doter de moyens suffisants pour permettre la constitution partielle ou totale d'un manteau neigeux dans les cas les plus défavorables, de manière à offrir une prestation entière qui sera invariablement proportionnelle aux recettes envisagées.

FABRICATION DE LA NEIGE DE CULTURE

Pour produire de la neige de culture, il faut projeter dans un air à température négative, un brouillard d'eau très finement pulvérisé, à grande distance. Sous l'influence de l'air froid, les gouttelettes d'eau se refroidissent, se congèlent, avant de retomber congelées sur le sol. (Il n'est économiquement pas concevable de fabriquer de la neige à une température supérieure à -4°C humide).

Contrairement à la neige naturelle, la formation du cristal de neige de culture ne provient pas d'un phénomène de condensation solide de la vapeur d'eau (passage direct de l'état gazeux à l'état solide), mais simplement de la solidification des gouttelettes d'eau (passage de l'état liquide à l'état solide) : c'est pourquoi les cristaux de neige de culture ont l'apparence de granules de formes sphériques.

Propriétés physiques de la neige de culture

Plus stable sur les plans thermodynamiques et mécaniques, la neige de culture ne se tasse que très peu.

Sa densité, en moyenne 4 fois supérieure à la neige naturelle fraîche et sèche (masse volumique de 400 kg/m^3), confère à ce matériau une plus grande facilité de cohésion et un potentiel de résistance mécanique plus élevé. La qualité de fabrication peut être sélectionnée en faisant varier le débit instantané d'eau.

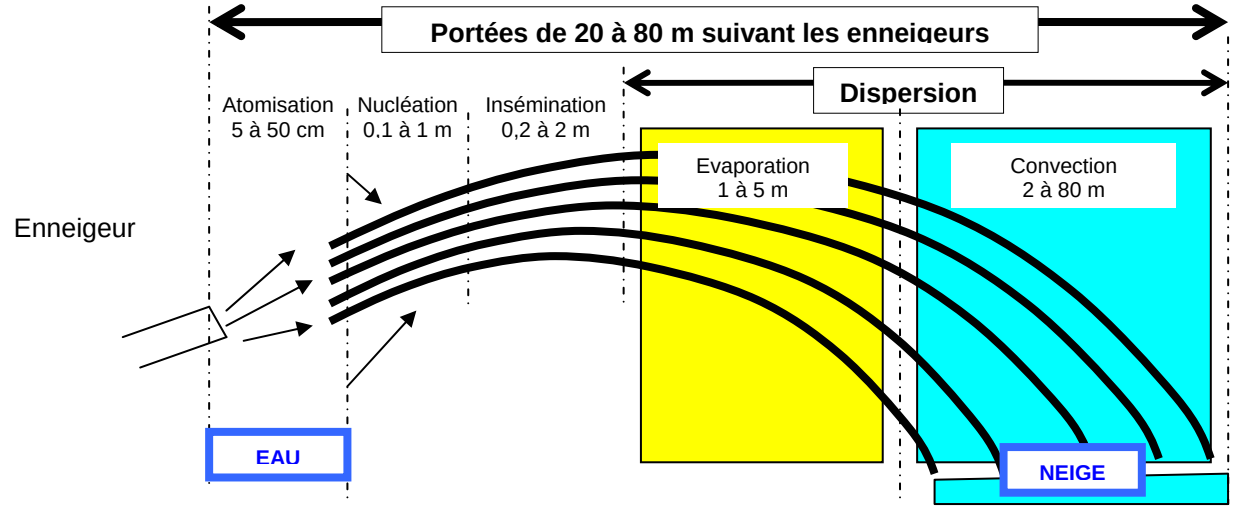
Il est couramment admis que l'on produit deux m^3 de neige de culture à partir d'un m^3 d'eau.

Qualités de la neige de culture

En fonction de la teneur en eau liquide au sein de la neige produite, on distingue plusieurs qualités de neige :

- Avec une teneur en eau proche de 0%, la neige est dite "sèche". Difficilement préhensible, elle ne permet pas la formation de boules de neige par compression.
- Avec une teneur en eau liquide proche de 2%, la neige est dite "peu humide". Elle autorise la formation de boules de neige par compression et retrouve son apparence initiale après fragmentation.
- Avec une teneur en eau liquide comprise entre 2 et 4%, la neige est dite "humide". Elle permet la formation de boules de neige sans retour possible à l'état initial après fragmentation.
- Avec une teneur en eau liquide supérieure à 4%, la neige est dite mouillée. Une boule de neige formée prend la couleur de la glace, elle ne se fragmente pas et de nombreuses gouttelettes se forment pendant la compression.

Principe de fabrication de la neige de culture



Différentes phases :

✓ Atomisation ou fragmentation

La première étape dans la transformation de l'eau en neige est l'atomisation du jet d'eau en fines gouttelettes dont la taille permet la cristallisation en glace dès qu'elles sont projetées dans l'air ambiant à température négative. Le diamètre courant des gouttelettes varie de 0, 2 à 0,8 mm.

✓ Nucléation

La nucléation est la formation en parallèle avec l'atomisation de microcristaux de glace (noyaux de nucléation) qui serviront à inséminer les gouttelettes d'eau à la sortie de l'enneigeur.

La formation de ces noyaux de nucléation se fait à travers les étapes suivantes :

- Mélange air/eau sous pression avec une très forte proportion en air dans la chambre d'un nucléateur,
- Expulsion et fragmentation du mélange par un orifice finement calibré du nucléateur,
- Détente brutale de l'air qui provoque un fort refroidissement ambiant en sortie de nucléateur,
- Cristallisation immédiate à température négative des particules d'eau formant ainsi des noyaux de nucléation.

✓ Insémination

L'insémination qui est la rencontre du flux de nucléation et du flux d'eau principal atomisé permet la transformation des gouttelettes en grains congelés.

L'eau pure ne congèle pas naturellement à 0°C, mais autour de -8°C à -12°C. L'insémination occasionne le déclenchement de la congélation en rompant l'état d'équilibre de l'eau en surfusion et permet ainsi de ramener le seuil vers -2°C humide.

✓ Dispersion

La dispersion des particules dans l'air ambiant froid permet à l'eau de se transformer en glace avant de tomber sur le sol. Cette dispersion est nécessaire pour donner du temps à l'introduction de noyaux de nucléation et permettre les différents échanges thermiques entre la goutte et l'air ambiant.

La dispersion est obtenue de différentes façons :

- Détente d'air comprimé,
- Flux d'air d'un ventilateur,
- Détente d'eau à forte pression,
- Combinaison des trois techniques précédentes.

✓ **Evaporation**

Lorsque la gouttelette est projetée dans l'air ambiant, sa partie extérieure s'évapore en utilisant les calories contenues dans l'eau, ce qui entraîne un abaissement de la température et facilite la congélation.

✓ **Convection**

Cette étape caractérise l'échange de chaleur entre l'air ambiant et l'eau.

LA STATION DE LA FOUX D'ALLOS

Photo: office de tourisme d'Allos

Située dans les Alpes de haute Provence, la station de la Foux d'Allos est l'une des plus grandes stations du Val d'Allos (vallée du Haut Verdon). Elle présente, en liaison avec les stations voisines, 230 km de pistes de ski alpin et plus de 100 km de pistes de ski de fond. La station de la Foux d'Allos dispose d'un très bon enneigement et du soleil réputé des Alpes du sud.

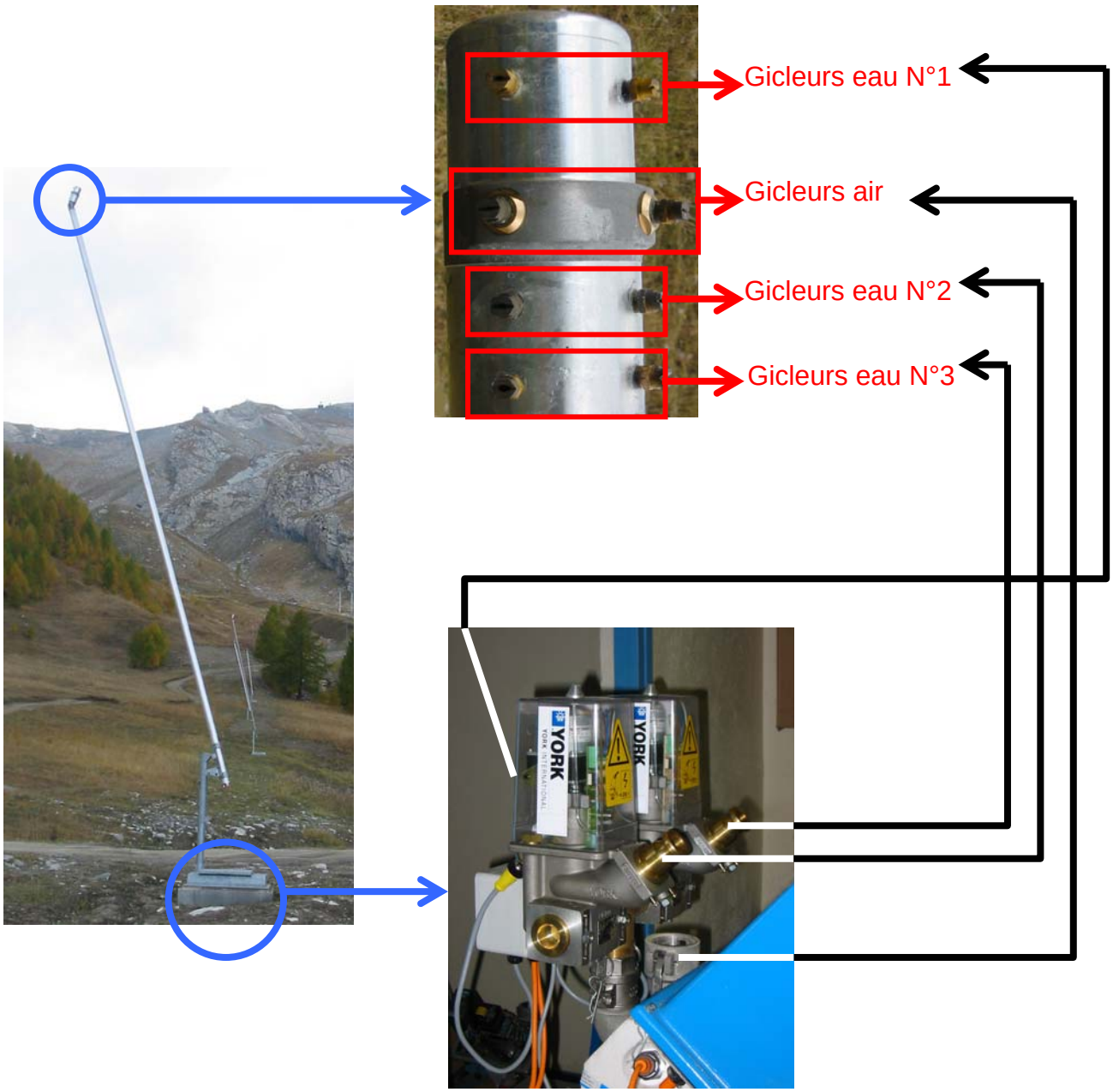
LE SYSTEME "YORK" DE FABRICATION DE LA NEIGE

✓ *Les enneigeurs*

Il existe deux technologies communément appelées bifluide et monofluide, qui selon le cas, font appel à des réseaux d'alimentation en air, eau, énergie électrique.

Les enneigeurs de type "RUBIS R10", principalement utilisés pour le système "YORK" étudié, sont de type bifluide à mélange externe :

Ce canon utilise le principe de la pulvérisation direct d'eau à travers trois circuits, équipés chacun de deux buses calibrées. Le premier ensemble de buses est alimenté directement par la vanne de piste, le deuxième et le troisième sont alimentés en fonction des températures extérieures par deux vannes additionnelles. La nucléation est assurée par deux nucléateurs qui pulvérisent de l'air.



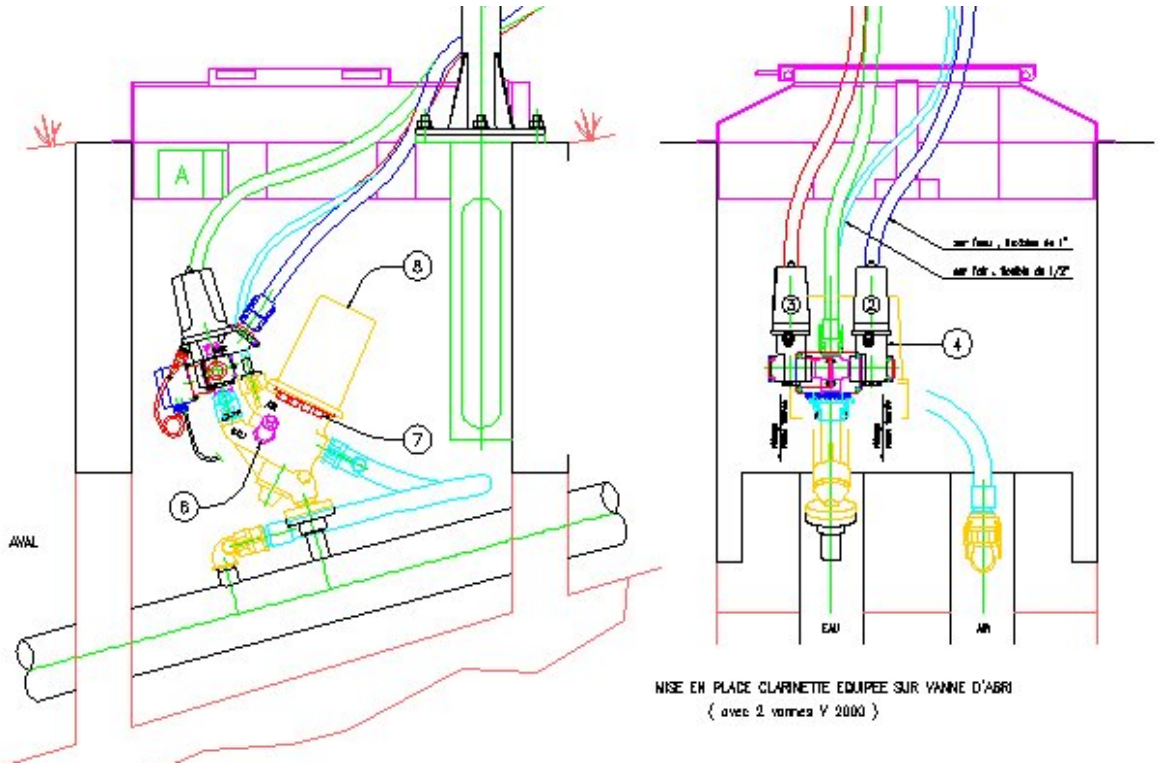
A partir d'une température de -4°C humide, les gicleurs "N°1" sont alimentés, lorsque la température baisse, les gicleurs "N°2" puis "N°3" sont à leur tour alimentés. L'alimentation en air par les gicleurs d'air est continue.

Pour les canons "Rubis R10" utilisés, la pression d'eau est de 40 bars pour un débit variant de 5,1 à 12,7 m^3/h en fonction de la température extérieure.

✓ *Equipements des pistes*

Les enneigeurs sont raccordés sur les différents réseaux qui circulent le long de la piste. Tous les 40 m environ sont situés des abris dans lesquels sont montées les vannes motorisées qui alimentent les canons en air et eau.

Des modules de communication, situés dans chaque abri, permettent de dialoguer en permanence avec l'ordinateur de pilotage. Ils envoient les informations de température, hygrométrie et vitesse du vent recueillies à proximité des enneigeurs, et transmettent aux vannes motorisées les ordres d'ouverture et de fermeture.

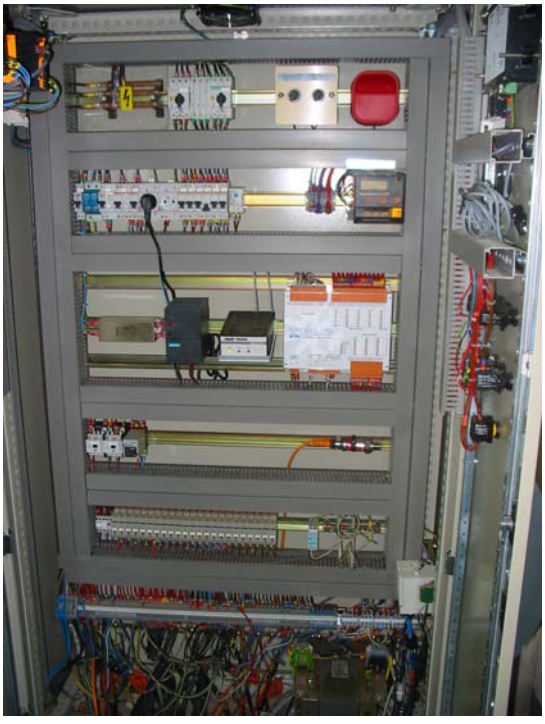


MISE EN PLACE CLARINETTE EQUIPEE SUR VANNE D'ABRI
(avec 2 vannes V 2000)

✓ *Les ressources énergétiques*

Les équipements de distribution d'énergie électrique peuvent être identifiés en trois sous-ensembles implantés dans le poste électrique :

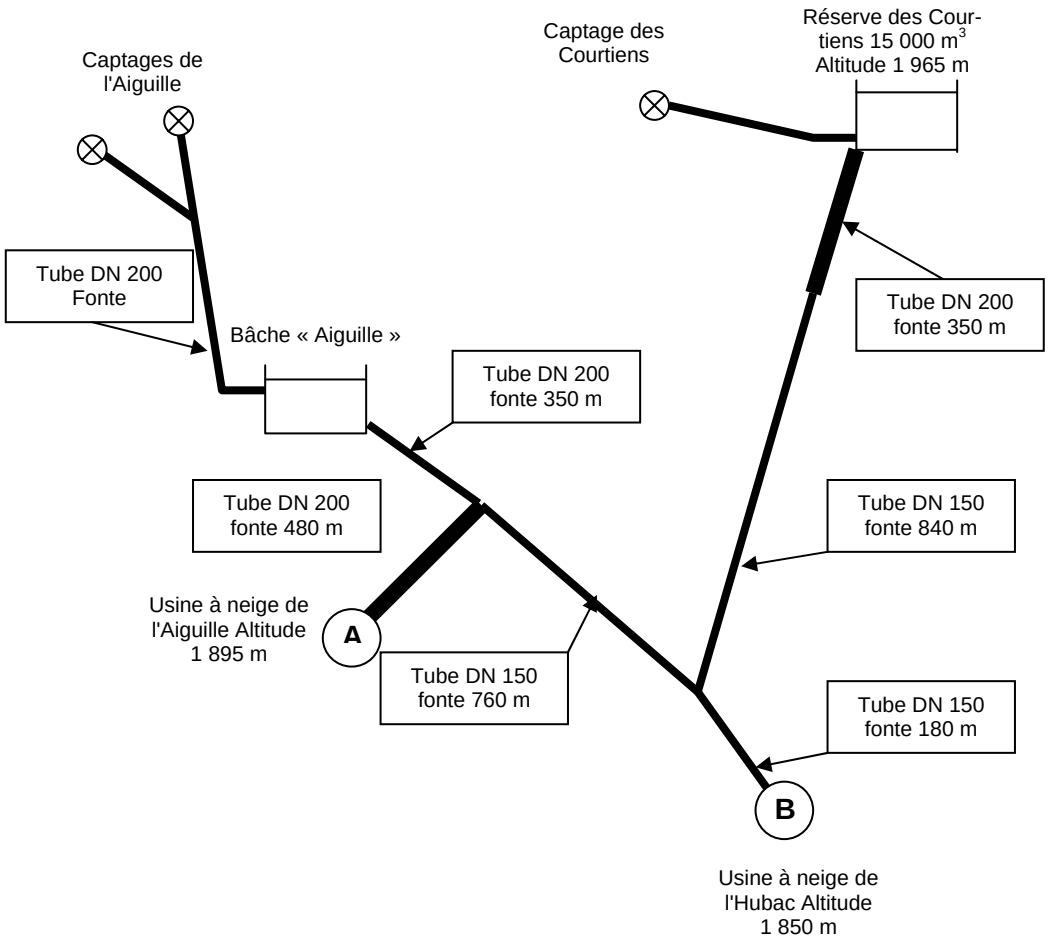
- Ensemble moyenne tension : cette tension de 20 000 volts arrive dans des armoires électriques appelées cellules moyenne tension, équipées des organes de sectionnement et de protection tels que : interrupteurs, fusibles, disjoncteurs.
- Transformation : à l'aval des cellules moyenne tension on trouve les transformateurs qui convertissent la moyenne tension en basse tension.
- Ensemble basse tension : le transformateur alimente en courant basse tension (410 volts) le TGBT (tableau général basse tension), équipé des disjoncteurs de protection qui alimentent les armoires de puissance et de commande.



✓ *Ressources en eau*

Le système complexe, commun aux deux usines à neige de la station et à l'alimentation en eau potable des bâtiments à usage d'habitations de commerces et industriels, est alimenté en eau par plusieurs captages qui approvisionnent plusieurs réservoirs tampons.

L'alimentation en eau des usines à neige peut être représentée par le modèle simplifié ci-dessous.



"A" : Compteur de l'usine à neige de l'Aiguille

"B" : Compteur de l'usine à neige de l'Hubac

✓ *Salle des machines* ***(schéma page PR7)***

Circuits eau

L'eau filtrée, en provenance des réserves [repère A], est acheminée vers un réservoir appelé "bac chaud" au travers d'un système de régulation de niveau.

Du "bac chaud", l'eau est reprise par la pompe [repère G] et dirigée vers une tour de refroidissement [repère B]. Dans cette tour, l'eau est dispersée au sommet où elle retombe en pluie en croisant, à contre courant, un flux d'air froid engendré par un ventilateur. De cette rencontre s'opèrent un échange de chaleur et un abaissement de la température de l'eau (2 à 3°C maximum).

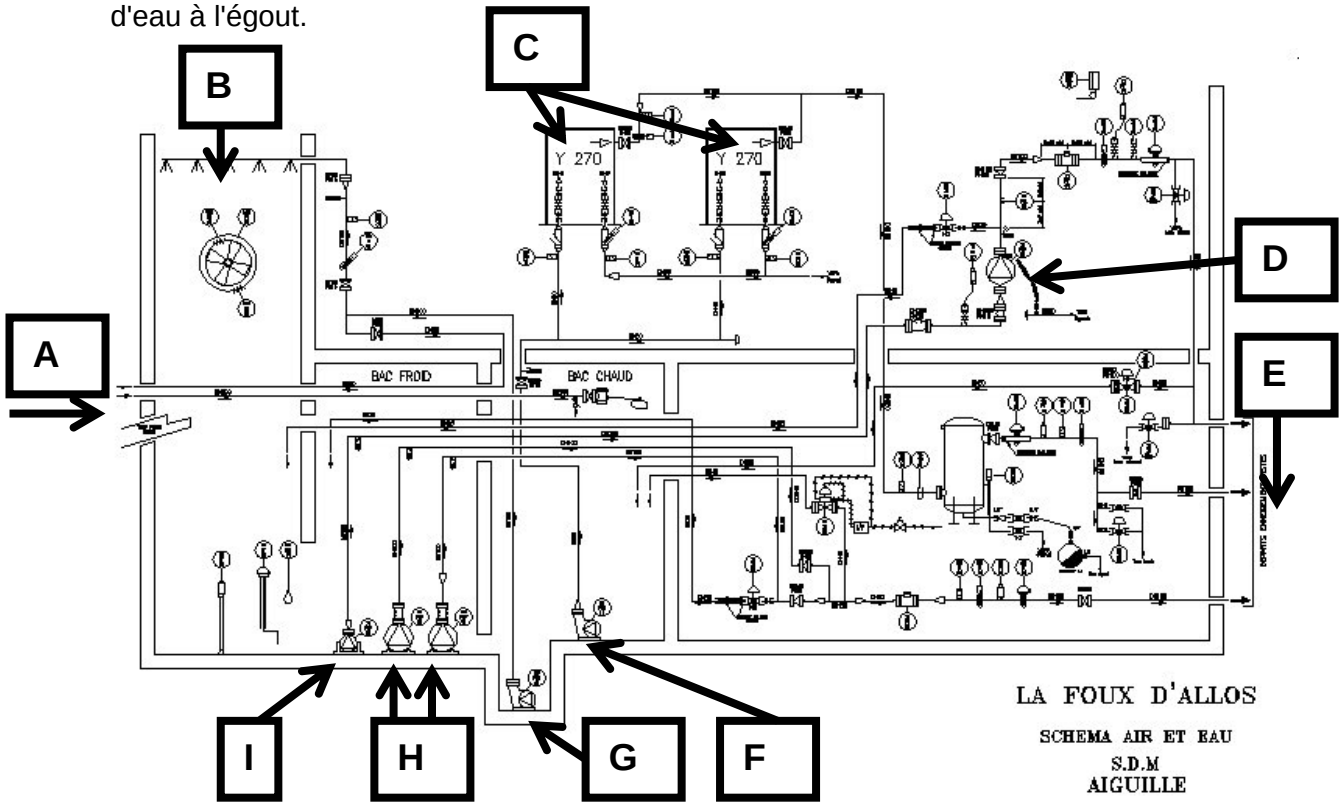
L'eau refroidie est dirigée vers un autre réservoir appelé "bac froid", elle est destinée à l'alimentation des circuits d'enneigement.

Circuit air

L'air nécessaire au fonctionnement des enneigeurs est comprimé par des compresseurs [repère C] de grandes capacités et de fortes puissances.

L'air, à la sortie des compresseurs, doit subir plusieurs traitements avant d'être envoyé vers les enneigeurs via la sortie [repère E].

- Refroidissement : la compression élève la température de l'air (80 à 100°C), il est donc important de le refroidir à une température la plus basse possible (le plus proche de 0°C) pour ne pas pénaliser le rendement des enneigeurs et pour permettre l'extraction de l'humidité qu'il contient. Cette opération est réalisée dans un échangeur à double circuit, air comprimé / eau, issue du "bac froid".
- Séparation des condensats : le refroidissement condense la vapeur d'eau contenue dans l'air comprimé et entraîne des gouttelettes qui doivent être extraites pour ne pas polluer le réseau et perturber le fonctionnement général de l'installation. Cette opération est réalisée dans un "séparateur".
- Séparation des huiles de lubrification : dans le cas d'utilisation de compresseurs lubrifiés, une petite partie d'huile, présente dans l'air comprimé, se retrouve dans les condensats à la base du séparateur. Le mélange (eau + huile) doit alors passer dans un appareil déshuileur avant le rejet d'eau à l'égout.



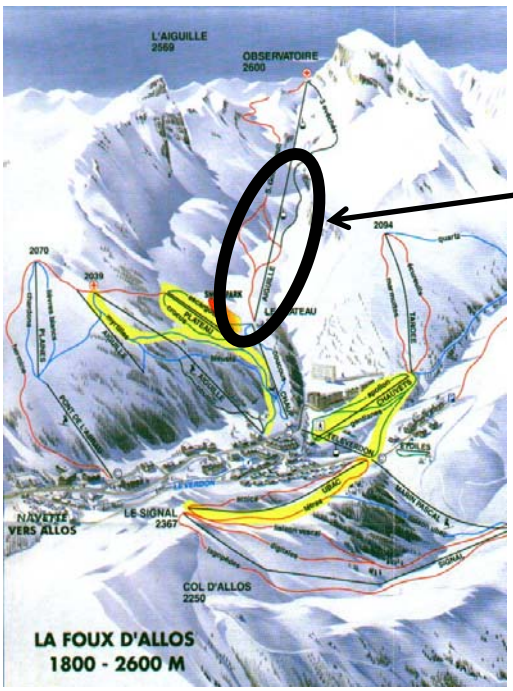
"A" Arrivée d'eau de la conduite d'alimentation après comptage.
"B" Tour de refroidissement de l'eau.
"C" Compresseurs d'air.
"D" Pompe haute pression d'enneigement (sujet de l'étude).
"E" Sortie eau et air de la salle des machine vers les canons à neige.
"F" Pompe de réfrigération de l'air des compresseurs.
"G" Pompe de la tour de refroidissement de l'eau.
"H" Pompes immergées.
"I" Pompe de gavage.

✓ *Contrôle et gestion des installations d'enneigement*

La gestion de l'installation est entièrement automatisée, le calculateur collecte les informations issues des pistes (températures, humidité, pression, vent) et reçoit les ordres de l'exploitant concernant les secteurs prioritaires pour l'enneigement et la qualité de neige souhaitée. En fonction des éléments d'entrée, le calculateur provoque le pilotage de l'ensemble des constituants de l'installation de manière à optimiser au maximum la production de neige et sauvegarde l'historique du fonctionnement qui pourra éventuellement être édité.

LA ZONE D'ETUDE SUR L'ENNEIGEMENT

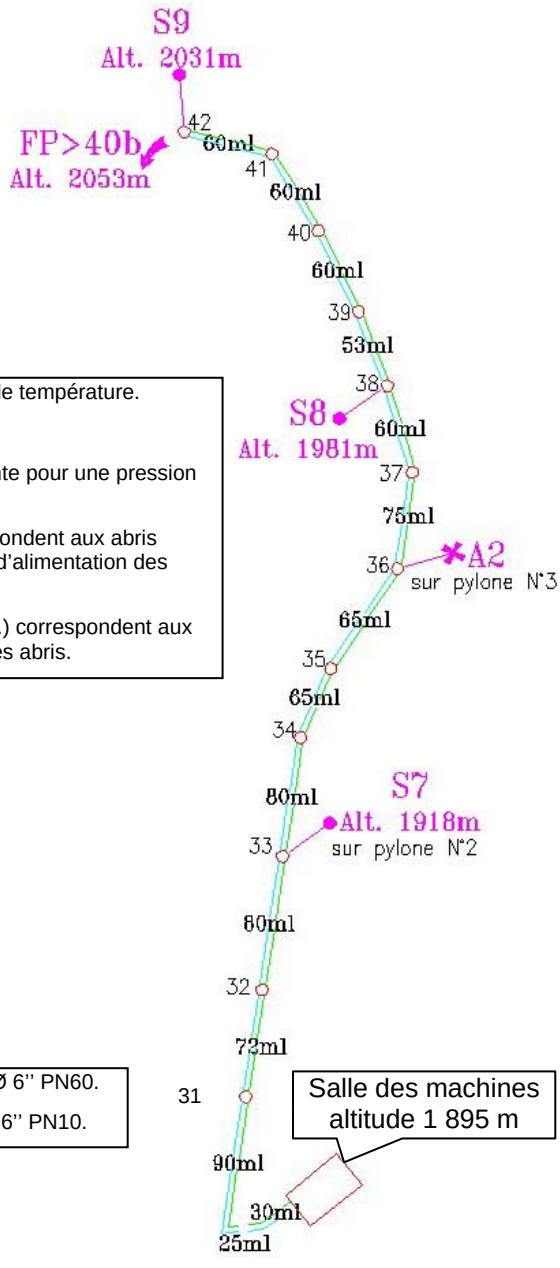
La zone d'étude proposée concerne l'enneigement des pistes issues du télésiège de l'aiguille situé sous l'observatoire, voir ci-dessous.



ZONE D'ETUDE

Enneigement des pistes "3 évêchés" et "S. Gousseault" desservies par le télésiège "AIGUILLE".

La disposition des différents canons est donnée ci-dessous.



- S7, S8 et S9 sont des sondes de température.
- A2 est un anémomètre.
- FP>40b est une fuite permanente pour une pression supérieure à 40 bars.
- Les repères de 31 à 42 correspondent aux abris contenant les vannes « York » d'alimentation des canons.
- Les distances (60 ml, 75 ml etc.) correspondent aux longueurs de tuyauterie entre les abris.

- Tuyauterie d'amenée d'eau ; Ø 6'' PN60.
- Tuyauterie d'amenée d'air ; Ø 6'' PN10.

CAHIER N° 2 : PARTIE A

ÉTUDE DE L'ALIMENTATION HYDRAULIQUE DES CANONS À NEIGE

- ✓ Analyse de la zone d'étude
- ✓ Etude de l'alimentation en eau de l'usine à neige
- ✓ Etude de l'alimentation en eau des canons à neige
- ✓ Etude du démarrage du moteur de pompe
- ✓ Etude de l'accouplement entre le moteur et la pompe

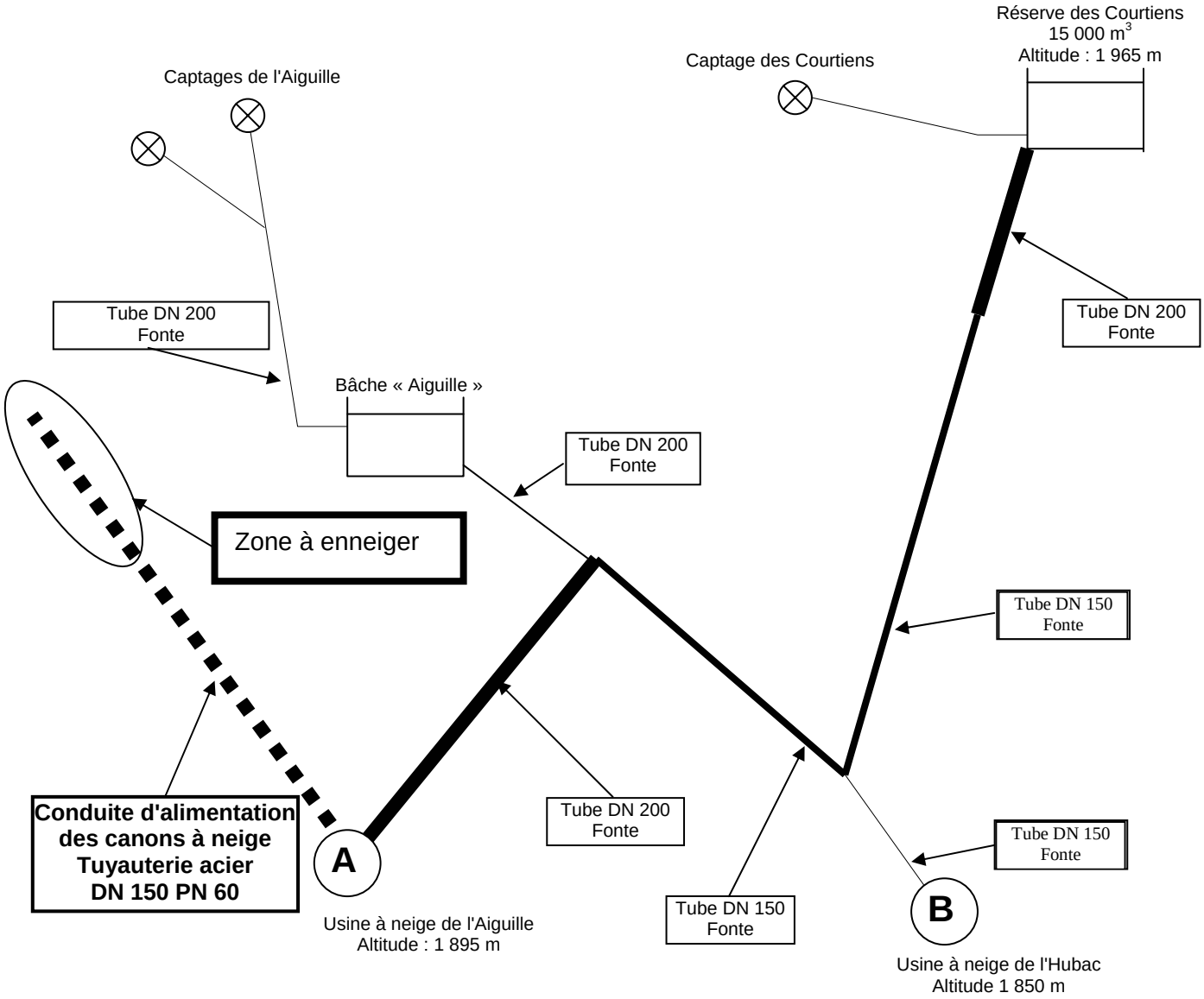
Ce dossier contient les documents suivants :

- 8 pages numérotées de A1 à A8

A1 ANALYSE DE LA ZONE D'ETUDE

***Objectif :* À partir du dossier de présentation de l'installation, identifier les caractéristiques nécessaires au dimensionnement de certaines parties de l'installation.**

Les installations de production d'eau potable pour les logements et bâtiments de la station puisent principalement sur les captages de l'aiguille. Pour notre étude, nous considèrerons que seule la réserve des Courtiens dont la surface libre est à 1 965 m alimente les deux usines à neige. D'où le schéma suivant : les traits forts correspondent aux conduites utilisées.



A 1 1 La réserve des Courtiens sert à l'alimentation en eau du système de production de neige de culture de la station : **Donner** la variation d'altitude entre la surface libre de la réserve des Courtiens et la salle des machines de l'usine à neige de l'aiguille.

A 1 2 La conduite d'amenée de l'eau de la réserve des Courtiens à la salle des machines de l'usine à neige de l'aiguille est constituée de tuyauteries DN150 et DN 200. **Donner**, pour chacune de ces tuyauteries, la longueur utilisée.

A 1 3 Donner les caractéristiques de la conduite d'alimentation en eau des canons à neige de la salle des machines à l'abri 42 (longueur et caractéristiques).

A 1 4 Donner les caractéristiques du canon "Rubis R10m" (débit d'eau maximum et pression d'eau).

A2 ETUDE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE L'USINE A NEIGE.

Objectif : Valider le dimensionnement de la conduite d'amenée

L'usine à neige est alimentée par la réserve des Courtiens, la conduite forcée entre ce lac et l'usine présente les caractéristiques définies au A 1 2.

La conduite est réalisée de manière à rendre les pertes de charges singulières négligeables (pertes d'énergie dues aux incidents de parcours : coudes, rétrécissements brusques, élargissements brusques, etc..) sauf le compteur pour lequel la perte de charge est de 0,5 mce (mètre de colonne d'eau) et donc seules les pertes de charge linéaires (pertes d'énergie) et la perte de charge du compteur seront prises en compte.

A 2 1 Déterminer, à l'aide de l'abaque fourni dans le dossier réponses, la perte de charge donnée en "mètre de colonne d'eau pour 100 m de conduite" pour chacun des diamètres de conduite. Prendre le débit maxi de la pompe 150 m ^{3}/h.

Le tube DN 150 a un diamètre intérieur de passage de : 160,3 mm
Le tube DN 200 a un diamètre intérieur de passage de : 210,1 mm

A 2 2 Calculer la perte de charge totale pour toute la conduite (les pertes de charge linéaires et perte de charge singulière dans le compteur).

A 2 3 Montrer que l'altitude de la réserve des Courtiens permet l'alimentation par gravité de la salle des machines de l'usine à neige de l'aiguille avec cette conduite.

A 3 ETUDE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES CANONS A NEIGE.

A 3 1 Valider le choix du type de pompe à partir de l'abaque "plage de fonctionnement" du constructeur "FLOWSERVE division pompe". **Tracer**, sur le bon abaque (voir document réponses), le point de fonctionnement maximum.

La pompe est de type "FLOWSERVE 4 WDX E 7D", elle est entraînée par un moteur "LEROY SOMMER LS315 MG 2" à une fréquence de rotation de 2 970 trs/min, elle doit délivrer un débit maximum de 150 m^3/heure sous une pression maximum de 500 m de colonne d'eau.

Photo 1 pompe d'enneigement (moteur + pompe)

Photo 2 Pompe multicellulaire haute presssion WDX E7D

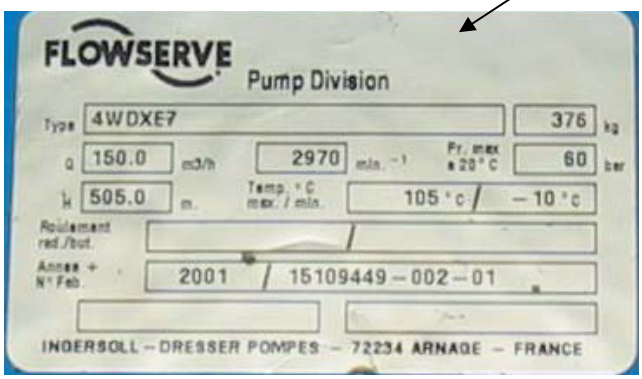


Photo 3 Plaque signalétique de la pompe

A 3 2 Calculer la puissance hydraulique nécessaire à l'enneigement d'un secteur d'altitude constitué de 12 canons "RUBIS R 10m"

Une analyse fine de cette puissance hydraulique nécessiterait un calcul répétitif canon par canon, ce qui n'est pas envisageable vu le temps imparti à cette épreuve et qui apporterait peu à l'évaluation des compétences du candidat. Nous prendrons donc les hypothèses suivantes, qui amènent à des résultats acceptables.

Les calculs seront réalisés pour 12 canons situés à une altitude moyenne dans une zone à enneiger relativement plane. Le calcul sera réalisé pour 1 m^3 de fluide circulant dans l'ensemble des 12 canons puis la puissance hydraulique maximum sera obtenue en tenant compte du débit maximum de 150 m^3/h.

Remarque : l'alimentation en eau de 12 canons en débit maximum dépasse légèrement la capacité maximale de la pompe (152,4 m^3/h pour 150). On peut ajuster ce débit au débit maximum de la pompe en supprimant l'alimentation d'une couronne de deux gicleurs sur un canon.

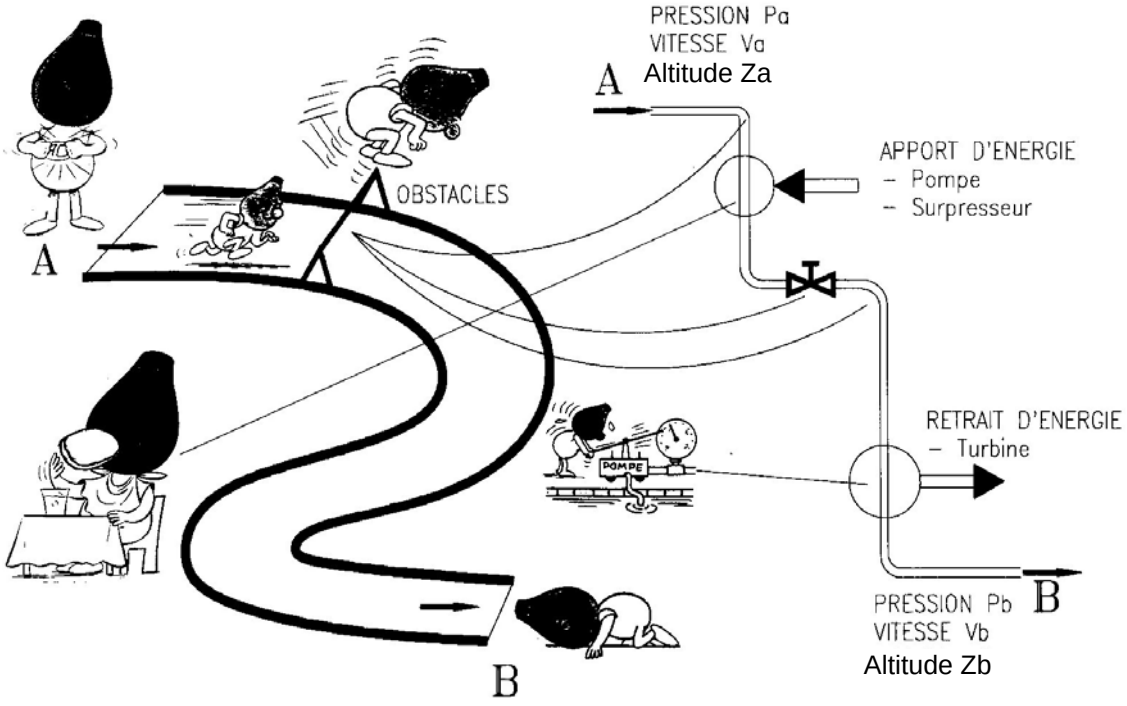
Rappels de quelques notions de dynamique des fluides

ECOULEMENT D'UN FLUIDE

L'écoulement, dans les conduites, se faisant en continu, le système matériel étudié est un m^3 de fluide.

Un m^3 de fluide, dans son parcours le long d'une tuyauterie, peut être assimilé à un athlète en exercice sur une piste munie d'obstacles (voir ci-dessous).

Remarque : un m^3 de fluide a une masse correspondant à sa masse volumique ρ en Kg/m^3 (pour l'eau à basse température, nous prendrons 1 000 kg/m^3).



		Lorsqu'un m^3 de fluide de masse volumique ρ kg/m^3 et donc de poids $\rho \times g$ en Newton ($g = 9{,}81\ m/s^2$) circule dans une tuyauterie de A vers B
✓ **Au départ, notre athlète possède une certaine énergie.**	➔	➔ ✓ **Son énergie (charge) de départ en "A" provient de :** • Sa pression : P_A en pascal (analogue à des Joules/m^3) • Son altitude Z_A en m (énergie potentielle) • Sa vitesse V_A en m/s (énergie cinétique)
✓ **Sa réserve d'énergie diminue par :** • La distance parcourue (perte régulière d'énergie).	➔	➔ ✓ **Sa réserve d'énergie diminue par :** • Pertes de charge linéaire (ou régulière ou unitaire), exprimées en Joules/m^3, dues en grande partie, au frottement du fluide sur la tuyauterie.
• Les obstacles à franchir (perte ponctuelle ou singulière d'énergie).	➔	➔ • Pertes de charge singulière, exprimées en Joules/m^3, dues aux perturbations ponctuelles de l'écoulement du fluide.
✓ Au ravitaillement : il y a **apport d'énergie** du milieu extérieur vers l'athlète (il y a aide extérieure).	➔	➔ ✓ **Apports d'énergie**, exprimés en Joules/m^3, par un élément du milieu extérieur (exemple : intégration d'énergie électrique transformée en énergie hydraulique par une pompe, un circulateur ou un surpresseur).
✓ En cours d'épreuve : on peut demander à l'athlète de produire un **travail au profit du milieu extérieur** (il y a aide du milieu extérieur par l'athlète).	➔	➔ ✓ **Retrait d'énergie** de l'écoulement vers le milieu extérieur, exprimé en Joules/m^3, (exemple : transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique par une turbine).
✓ **A l'arrivée, notre athlète possède une autre énergie.**	➔	➔ ✓ **Son énergie (charge) d'arrivée en "B" provient de :** • Sa pression : P_B en pascal (analogue à des Joules/m^3) • Son altitude Z_B en m (énergie potentielle) • Sa vitesse V_B en m/s (énergie cinétique)
		Remarque : apports et retraits d'énergie constituent ce que l'on appelle les travaux d'échange avec le milieu extérieur.

L'équation de BERNOULLI permet de déterminer l'énergie en un point de l'écoulement par rapport à un point situé en amont en fonction des pertes d'énergies (pertes de charge) et des travaux d'échanges.

Energie en A	- pertes d'énergie dans la tuyauterie	+ échange d'énergie avec le milieu extérieur (<0 retraits, >0 apports)	= Energie en B

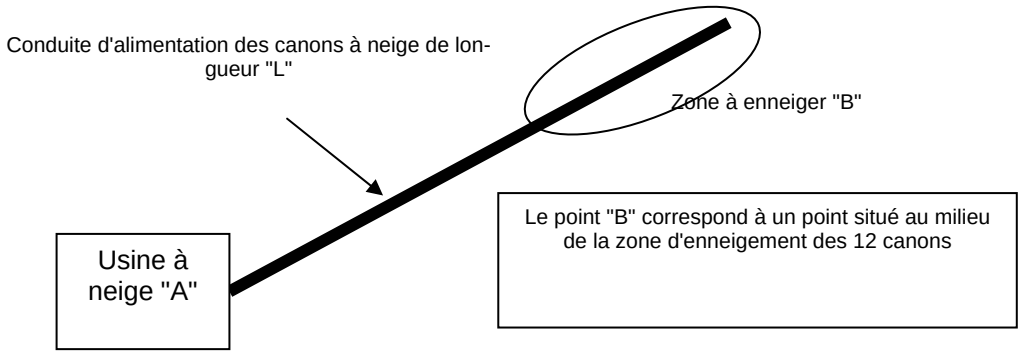
Cette équation sur l'étude énergétique d'un écoulement sera exprimée en Joules/m^3

(Remarque : 1Pa = 1N/m^2 = 1m·N/m^3 = 1J/m^3).

Rappels :

- Masse volumique de l'eau : ρ = 1 000 kg/m^3
- Accélération de la pesanteur : g = 9,81 m/s²
- Pour obtenir la pression en pascal lorsqu'elle est exprimée en mce (mètres de colonnes d'eau), il suffit de multiplier cette valeur par $\rho \times g$

Données :



- ✓ Le point "A" correspond à un point situé sur la surface libre du bac froid (réserve d'eau rafraîchie) de la salle des machines, la pression en "A" est égale à la pression atmosphérique et la vitesse de déplacement de ce point est négligeable (réservoir de grande capacité).
- ✓ Le point "B" correspond à la sortie des gicleurs du canon à neige, la pression est donc égale à la pression atmosphérique, la vitesse d'écoulement du fluide est de 90 m/s.
- ✓ La différence d'altitude entre les points "A" et "B" est de 75 m, la longueur de la tuyauterie est de 586 m.
- ✓ Les pertes de charge linéaires dans la tuyauterie acier DN 150 PN60 sont, dans les conditions d'utilisation, de 265 J/m^3/m.
- ✓ Les pertes de charge singulières dans la tuyauterie sont évaluées à 20 000 J/m^3
- ✓ La perte de charge totale du branchement à la sortie du canon est de 6 mce pour une pression d'utilisation de 40 bars. Les canons sont montés en parallèles sur la conduite d'alimentation, il faut donc dans l'équation de Bernoulli ne considérer qu'un seul canon et non les 12.

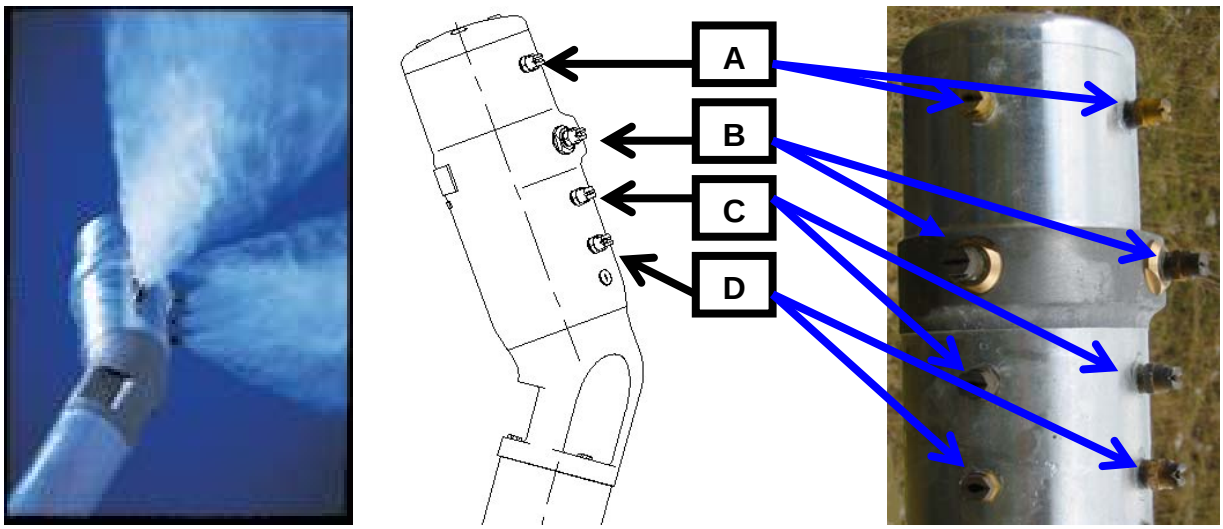


Photo 4 Canon à neige "York Rubis R10m"

"A" Buses (gicleur) d'alimentation en eau. Ces buses seront les premières à être alimentées à partir d'une température de -4°C humide.

"B" Buses (gicleur) d'alimentation en air. Ces buses sont alimentées dès la mise en fonctionnement du canon.

"C" et "D" Buses (gicleur) d'alimentation en eau. Ces buses seront alimentées successivement suivant la baisse de température (quand la température baisse, le rapport volume d'air / volume d'eau diminue).

- ✓ La perte de charge singulière maximum totale du branchement à la sortie du canon lorsque les trois couronnes (6 gicleurs eau) sont en service est évaluée à 6 mce.

A 3 2 1 Montrer que la variation d'énergie potentielle pour 1 m^3 d'eau peut s'écrire :

$$\rho g\,(Z_B - Z_A)$$

A 3 2 2 Montrer que la variation d'énergie cinétique pour 1 m^3 d'eau peut s'écrire :

$$\tfrac{1}{2}\,\rho\,(V_B^2 - V_A^2)$$

A 3 2 3 Montrer, à partir de l'équation de Bernoulli, que le travail d'échange que doit apporter la pompe à l'écoulement peut s'écrire sous la forme suivante :

$$W_{pompe} = (P_B - P_A) + \rho g\,(Z_B - Z_A) + \tfrac{1}{2}\,\rho\,(V_B^2 - V_A^2) + PdC$$

PdC désigne l'ensemble des pertes de charge rencontrées dans la circulation du fluide du point "A" jusqu'au point "B" (pertes de charges régulières et singulières).

A3 2 4 Calculer ce travail pour 1 m^3 de fluide circulant dans les 12 canons (attention à la pression en B égale à la pression atmosphérique).

A 3 2 5 Calculer la puissance hydraulique apportée par la pompe au circuit sachant que le débit maximum de 150 m^3/h alimente les 12 canons et que la puissance est le produit du travail d'échange W, en J/m^3, avec le débit Qv, en m^3/s.

A 3 2 6 Valider le choix du moteur utilisé :

Moteur LEROY SOMMER LS 315 MG2 de 315 kW de puissance avec une fréquence de rotation en charge de 2 970 trs/min.

Le rendement de la pompe WDXE7 en charge maximale est de 77%

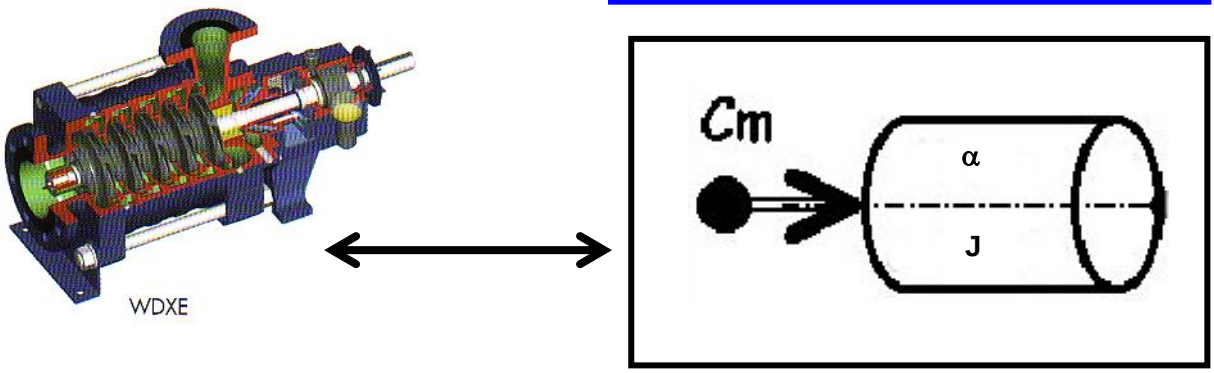
Montrer que ce moteur satisfait aux contraintes recherchées.

A 4 ETUDE DU DEMARRAGE DU MOTEUR DE POMPE

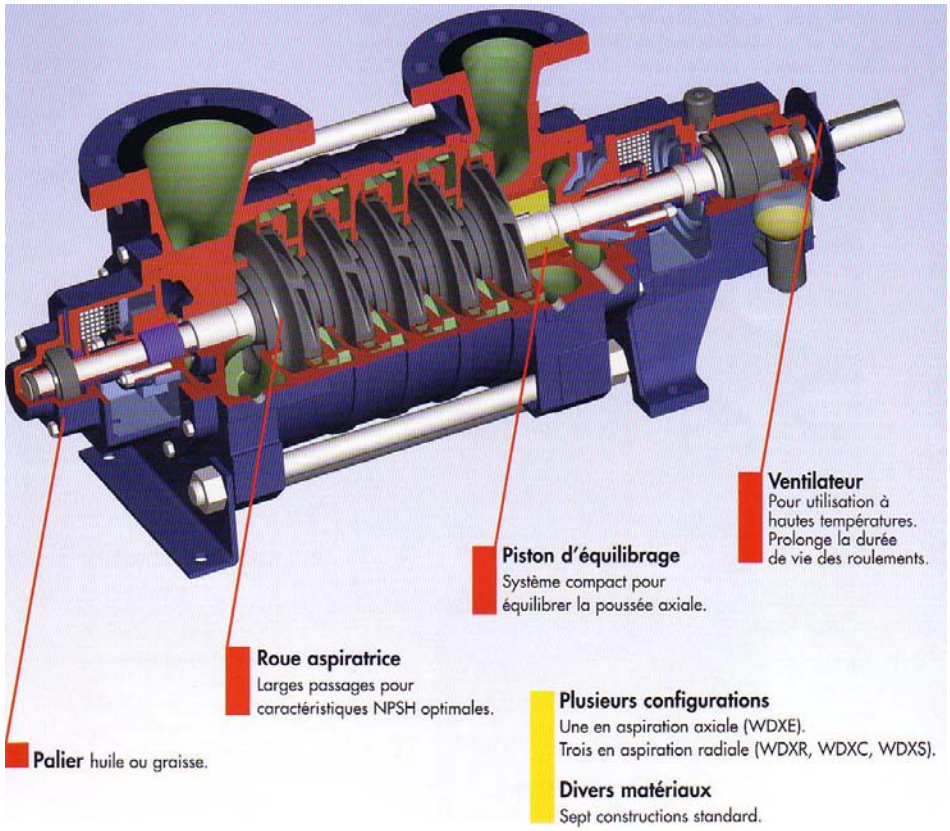
Données :

- ✓ Le moteur atteint la fréquence de rotation de 2 970 trs/min en 2 secondes d'un mouvement circulaire que l'on supposera uniformément accéléré. Ce démarrage est contrôlé par un démarreur électronique.
- ✓ Le moment d'inertie du rotor de pompe est de 0,287 kg·m^2
- ✓ Le moment d'inertie du moteur est de 2,375 kg·m^2
- ✓ Pour une pompe centrifuge et durant la période de démarrage, l'influence du fluide est pratiquement inexistante sur la courbe du couple en fonction du temps. Le système se réduit donc, durant cette période de démarrage, à un cylindre d'inertie donnée entraîné avec une accélération donnée. La période de démarrage passée, la puissance maximum de 315 kW pour une fréquence de 2 970 trs/min est obtenue au bout de 3 secondes.

Système équivalent en phase de démarrage de la pompe WDXE7



Cm : couple utile du moteur, J : Moment d'inertie et α : accélération angulaire



A 4 1 Calculer l'accélération angulaire, contrôlée par le démarreur électronique, de l'ensemble moteur et pompe.

A 4 2 Calculer le couple électromagnétique du moteur durant la phase de démarrage.

A 4 3 Calculer le couple du moteur au bout de 5 secondes, lorsque, la pompe étant amorcée, la puissance maximum est sollicitée.

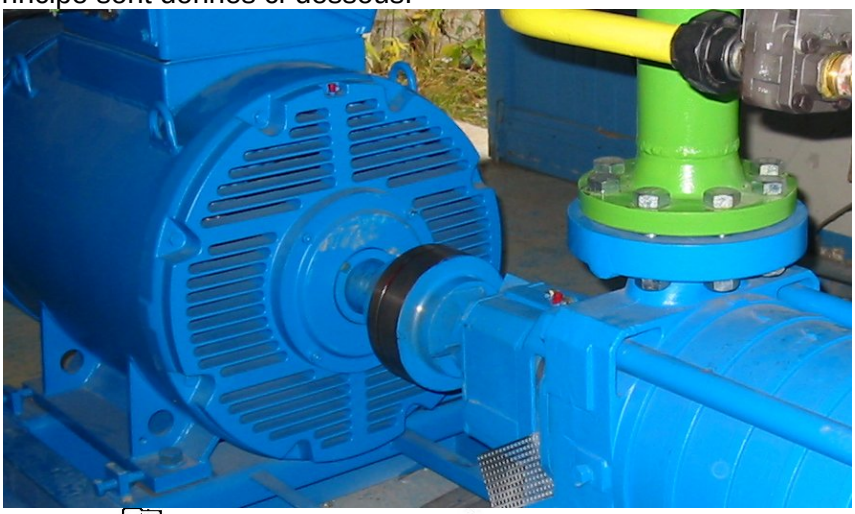
A 4 4 Tracer la courbe de couple du moteur en fonction du temps, à partir du démarrage et pour une durée de 10 secondes.

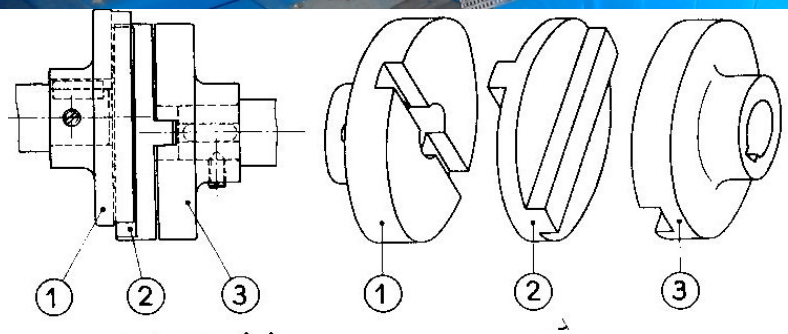
A 4 5 Imaginer et **décrire** plusieurs scénarios concernant la forme de la courbe précédente, qui prennent en compte le moment d'amorçage de la pompe, après la fin de la période de démarrage.

A 4 6 Tracer la courbe de couple du moteur en fonction de la vitesse de rotation, à partir du démarrage et pour une durée de 10 secondes.

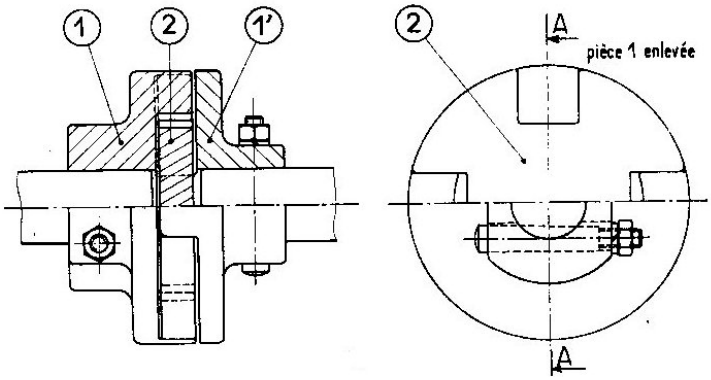
A 5 ETUDE DE L'ACCOUPLEMENT MOTEUR / POMPE

La liaison mécanique entre le moteur et la pompe est réalisée avec un joint dit "de OLDHAM" dont deux schémas de principe sont donnés ci-dessous.





1/2 coupe A-A



Citer au moins deux avantages de ce type d'accouplement qui ont conduit le constructeur à l'utiliser dans cette réalisation.