

SESSION 2013

**CAPLP
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

**Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE
Option : ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉNERGIE**

ÉPREUVE DE SYNTHÈSE

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

LISI MEDICAL Orthopeadics

Maîtrise de l'énergie et prise en compte de l'impact environnemental

Le sujet comporte :

- Un dossier présentation générale de l'entreprise.
- Un dossier ressources.
- Un dossier travail demandé.

Conseils aux candidats :

Les différentes parties du sujet sont indépendantes. De nombreuses questions sont elles mêmes indépendantes. Une lecture attentive de l'ensemble s'avère nécessaire avant de composer.

Les candidats sont priés de rédiger sur le document fourni et il est demandé de présenter clairement les calculs, de dégager et d'encadrer les résultats relatifs à chaque question.

La qualité des réponses (utilisation d'une forme adaptée pour présenter le résultat, justification du résultat), sera prise en compte dans l'évaluation.

La qualité des représentations et des tracés ainsi que le respect de la normalisation seront pris en compte dans l'évaluation.

LISI MEDICAL Orthopeadics

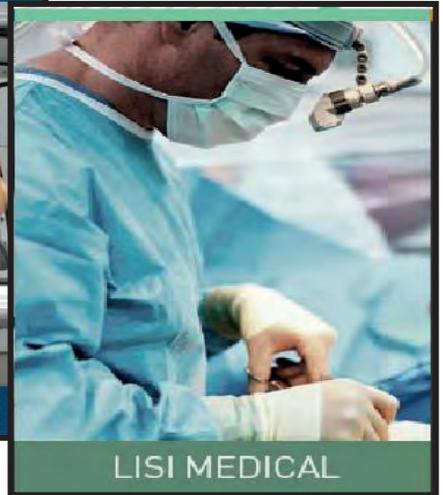
Maîtrise de l'énergie et prise en compte de l'impact environnemental

Présentation générale	page 2
Implantation de l'usine	page 5
Audit énergétique	page 6
Réseau électrique HT/BT	page 9
Centrales de traitement d'air (Dépoussiéreurs)	page 13



Présentation générale

Le groupe LISI est l'un des leaders mondiaux de la conception et de la fabrication de solutions d'assemblage. Ses composants et systèmes de fixation sont utilisés dans les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile et du médical.



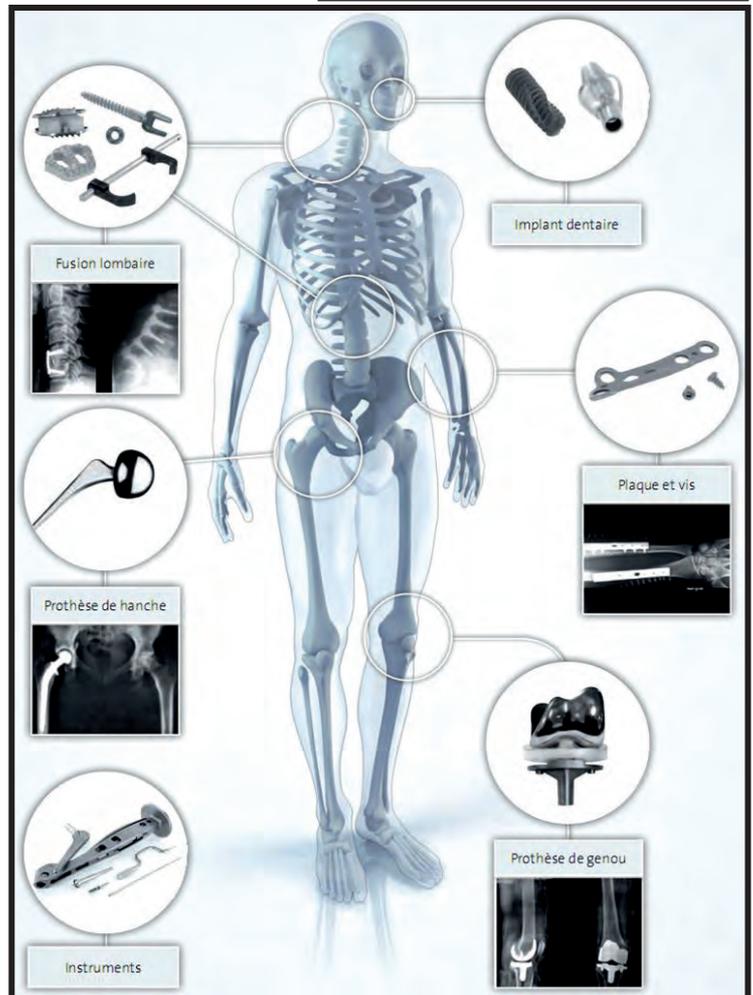
LISI MEDICAL

LISI MEDICAL, est une division du groupe LISI. Un groupe qui comprend 5 sites industriels :

Trois en France, dont celui d'Hérouville Saint Clair dans le Calvados, un aux Etats-Unis et un au Maroc.

Les produits phares de LISI MEDICAL sont les suivants :

- implants rachidiens et orthopédiques (HUGUENY) ;
- implants dentaires et ancillaires (JEROPA) ;
- implants chirurgicaux : pied, main, traumatologie, maxillo-facial, dentaires et fabrication d'instruments chirurgicaux (SEIGNOL & INTERMED Application) ;
- implants chirurgicaux : hanches (BENOIST-GIRARD).



Présentation générale



LISI MEDICAL Orthopaedics Site de production d'Hérouville Saint Clair

Avec un effectif de 250 techniciens et ouvriers qualifiés, l'usine Benoist-Girard rebaptisée "LISI MEDICAL Orthopaedics" suite à son introduction dans le groupe LISI, est basée à Hérouville Saint-Clair (département du Calvados).

L'entreprise a été créée en 1946 dans l'agglomération de Caen et s'étend sur une surface couverte d'environ 10000 m².

Le site de production est spécialisé dans la fabrication de prothèses de hanches et d'instruments orthopédiques forgés, distribuées mondialement. L'entreprise dispose également d'un centre de recherche.



ISI MEDICAL

1. Tige fémorale monobloc
2. Prothèse totale de la hanche avec sa tige, sa tête et son implant cotyloïdien
3. Cotyles

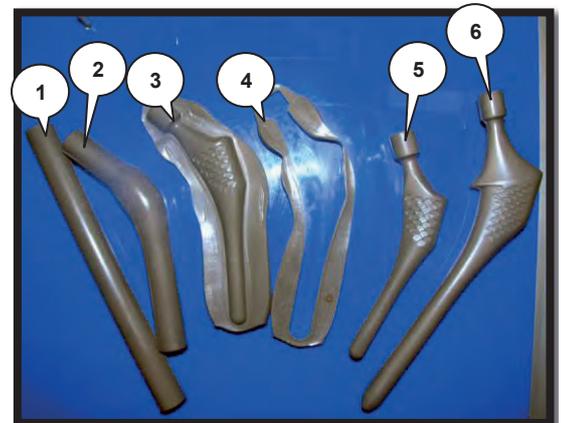
Process de fabrication Principe général

Les prothèses médicales peuvent être fabriquées dans des matières différentes :

- acier inoxydable ;
- alliage de chrome et de cobalt ;
- titane ;
- plastique.

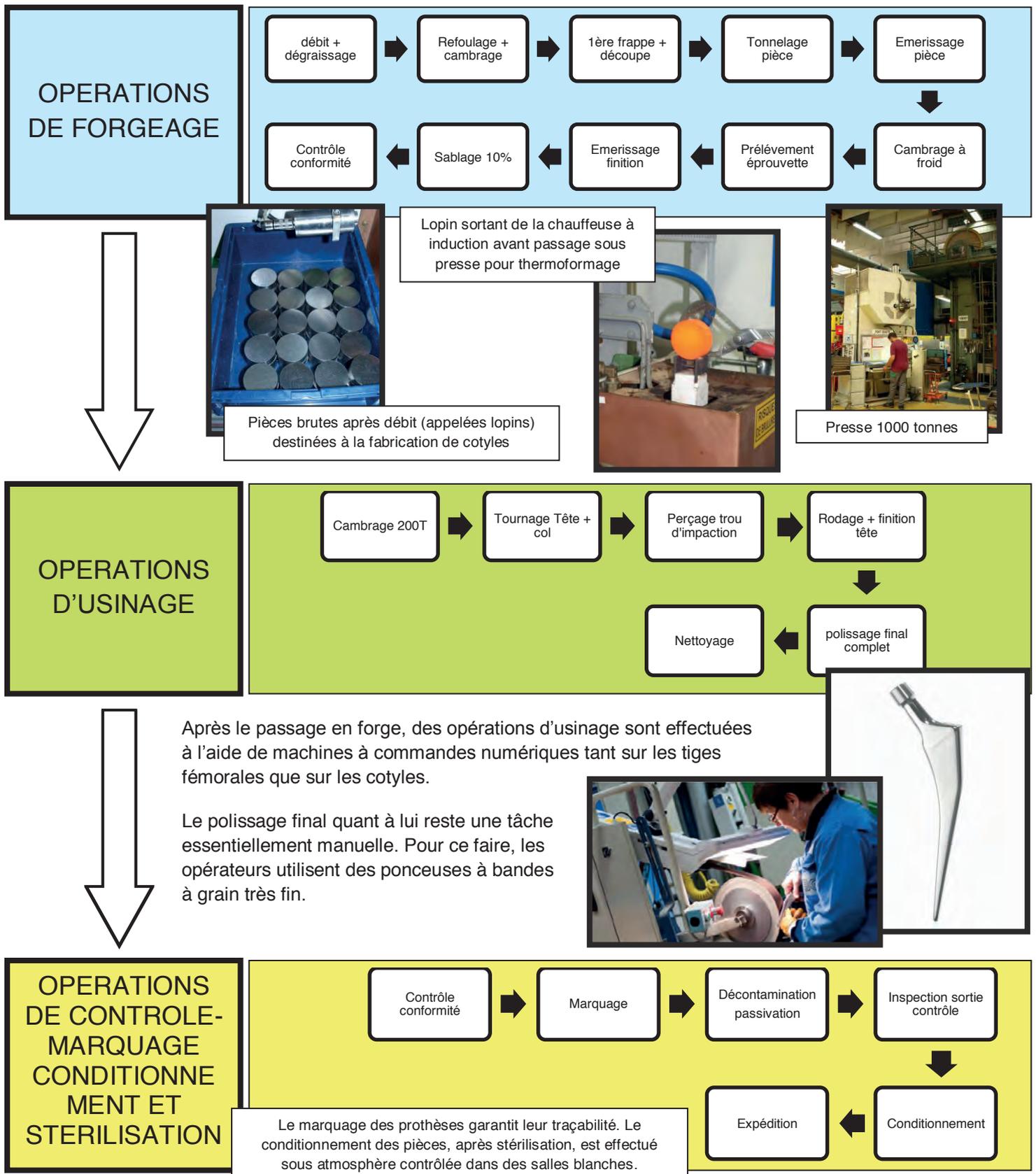
Le processus de fabrication se décompose en trois grandes phases :

- opérations de forgeage ;
- opérations d'usinage ;
- opérations de contrôle, marquage et conditionnement.



1. Barreau brut
2. Préformage (chauffe par induction + presse)
- 3 et 4. Thermoformage (de nouveau chauffe par induction + presse). Le repère 4 présente la chute de métal après passage de la pièce.
- 5 et 6. Exemple de pièces en sortie des opérations de forge. Le niveau de précision est alors de l'ordre du centième de mm.

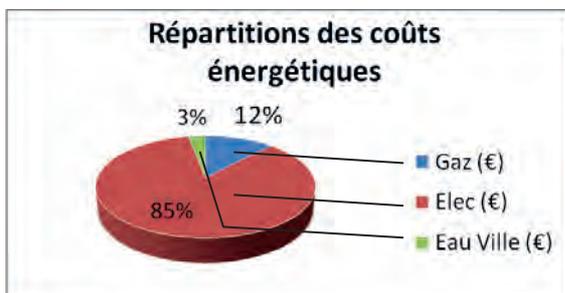
Présentation générale



Audit énergétique

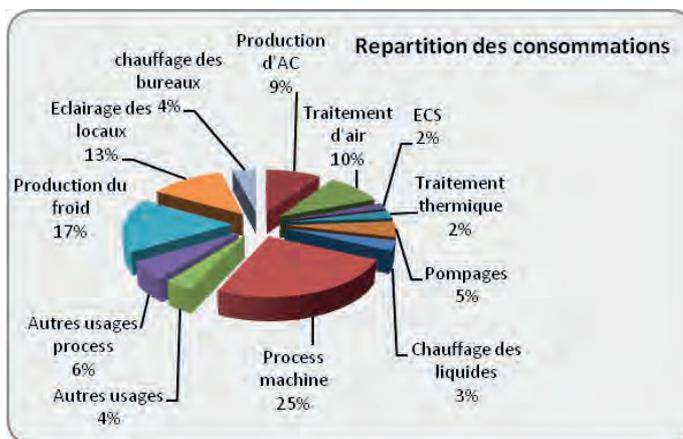
Dans le cadre d'un partenariat, la société LISI Medical Orthopeadics a commandé à EDF des prestations d'étude et de détection des potentiels d'économie d'énergie.

La société prestataire a donc entamé une démarche globale d'analyse des consommations dont le résultat est présenté dans le graphique ci-contre.



Electricité : Coût moyen estimé du kWh :
6,354 cts € HT/kWh

Gaz : Coût moyen estimé du kWh :
4,1 cts € HT/kWh



L'audit énergétique a recensé des actions à mener au sein de l'entreprise LISI Medical Orthopeadics. Chaque action est présentée dans le tableau ci-dessous ainsi que les gains potentiels qu'elles pourraient engendrer (k€/an).

Action	Gain potentiel (k€/an)
ELECTRICITE	
Analyse du talon de consommation*	5,3
Mise en place de ballasts électroniques (Bureaux)	1
Mise en place de ballasts électroniques (Atelier)	7,9
Air Comprimé : couplage du réseau	2,96
Air Comprimé : adapter le niveau de pression	1,9
Air Comprimé : diminution du taux de fuites	2,5
Air Comprimé : récupération de chaleur ZR 90	6,2
Régulation des centrales de traitement d'air	7,7
Mutualisation de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS)	0,86
Production de froid	
Haute pression flottante sur process	1,8
Free-cooling sur process induction	4
Conditionnement d'ambiance	
Optimisation des chaudières Gaz (chauffage ateliers)	7,2
Optimisation du chauffage des bureaux	2
Réactif	0,816
Gestion	
Gestion technique des bâtiments : Electrique	27
Gestion technique des bâtiments : Gaz	3,8

*Consommation résiduelle constatée en dehors des périodes ouvrées.

Audit énergétique

La société LISI Medical Orthopedics a engagé, suite à l'audit, quelques actions visant à réduire sensiblement sa consommation d'énergie.

Actions déjà engagées :

- remplacement des luminaires de l'atelier représentant 7,9 k€ d'économie selon le tableau de la page 6/14 ;
- investissement dans deux nouveaux compresseurs pour la production d'air comprimé ; les anciens compresseurs à pistons étant très énergivores. Outre le meilleur rendement de cette nouvelle installation, l'un de ces compresseurs à vis est à vitesse variable. Il permet de réaliser des économies en ajustant automatiquement le débit d'air produit à la demande du réseau.

Actions envisagées :

- la régulation des centrales de traitement de l'air (dépoussiéreurs) et la rénovation de la GTB feront l'objet d'une étude car elles représentent une source d'économie substantielle.



Exemple de fiche action détaillée

Thème : Régulation des centrales de traitement d'air

Economie potentielle annuelle : 7.7 k€

Description :

Le renouvellement d'air est traité par 5 aspirateurs extérieurs H15 d'une puissance de 15 kW pour chaque moteur et ayant un débit d'aspiration compris entre 7000 et 10000 m³/h selon les machines.

Lors de notre visite nous avons pu constater que les différents équipements de ponçage raccordés à l'aspiration étaient dotés d'un clapet automatique censé contrôler l'aspiration.

Proposition :

Il serait intéressant de mettre en place une régulation qui piloterait les différentes aspirations suivant les besoins en tenant compte des réduits et des périodes non travaillées (ex : week-end).

La mise en place d'une VEV (variation électronique de vitesse) sur les moteurs de ventilation, tout en respectant les débits minimum ainsi que la qualité d'aspiration des poussières.

Intérêt économique de la solution :

Une campagne de mesure électrique devra être effectuée sur les différents moteurs des ventilateurs, ainsi que des mesures de pression sur les différents réseaux de gaines.

Potentiel de gain économique : 15%

Investissement : étude de faisabilité par le fabricant ; cout estimé d'un variateur pour une puissance de 15 kW : 4 k€ HT.

Gestion des intermittences des différentes aspirations (gain économique) :

Pilotage des moteurs par des horloges rattachées ou pas, à la GTB.

Hypothèses de fonctionnement sur un temps de fonctionnement utile à la production estimé à 18 h les jours de la semaine et à 7 h le samedi, 50 semaines par an.

Validations

Comité technique du

LISI Medical Orthopedics

EDF

Relevé de décision du

M

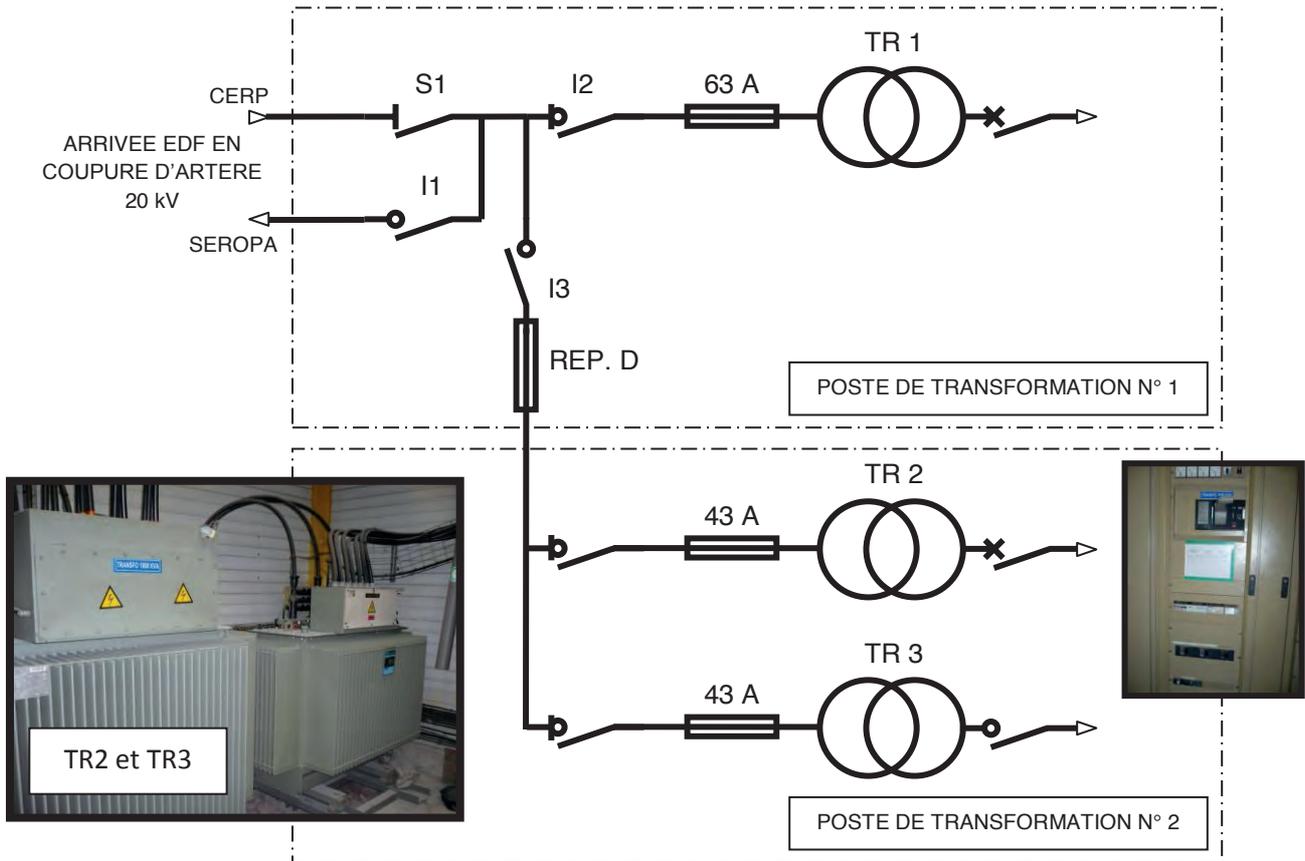
Responsable technique

Réseau électrique HT/BT

L'usine LISI Medical Orthopedics est alimentée à partir de trois transformateurs (TR1, TR2 et TR3). Ils sont répartis dans deux postes de transformation intérieurs conformément au schéma de principe ci-dessous (voir également pages 11/14 et 12/14).

LISI Medical Orthopedics a signé un contrat de fourniture d'énergie électrique avec EDF (Tarif Vert A5 longues utilisations). L'arrivée électrique, en coupure d'artère, se fait depuis le poste de transformation n°1.

ARCHITECTURE DU RESEAU HT/BT (Avant rénovation du poste n°2)



Données techniques :

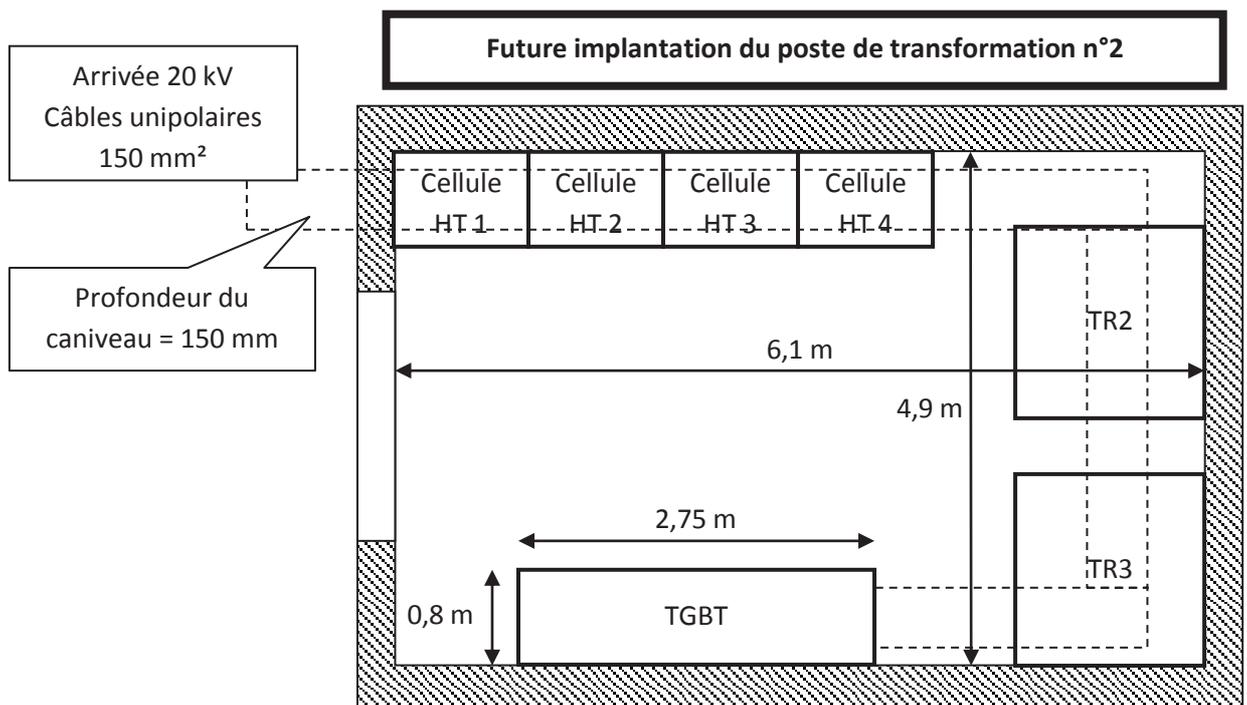
- temps moyen de fonctionnement quotidien en charge = 18 heures ;
- nombre de jours d'activité annuel = 260 jours ;
- pas de mise hors tension du transformateur en dehors des périodes de production ;
- bien que l'atelier utilise des alimentations électroniques pour le chauffage par induction des lopins (barres de métal avant forgeage), le réseau électrique est peu pollué.

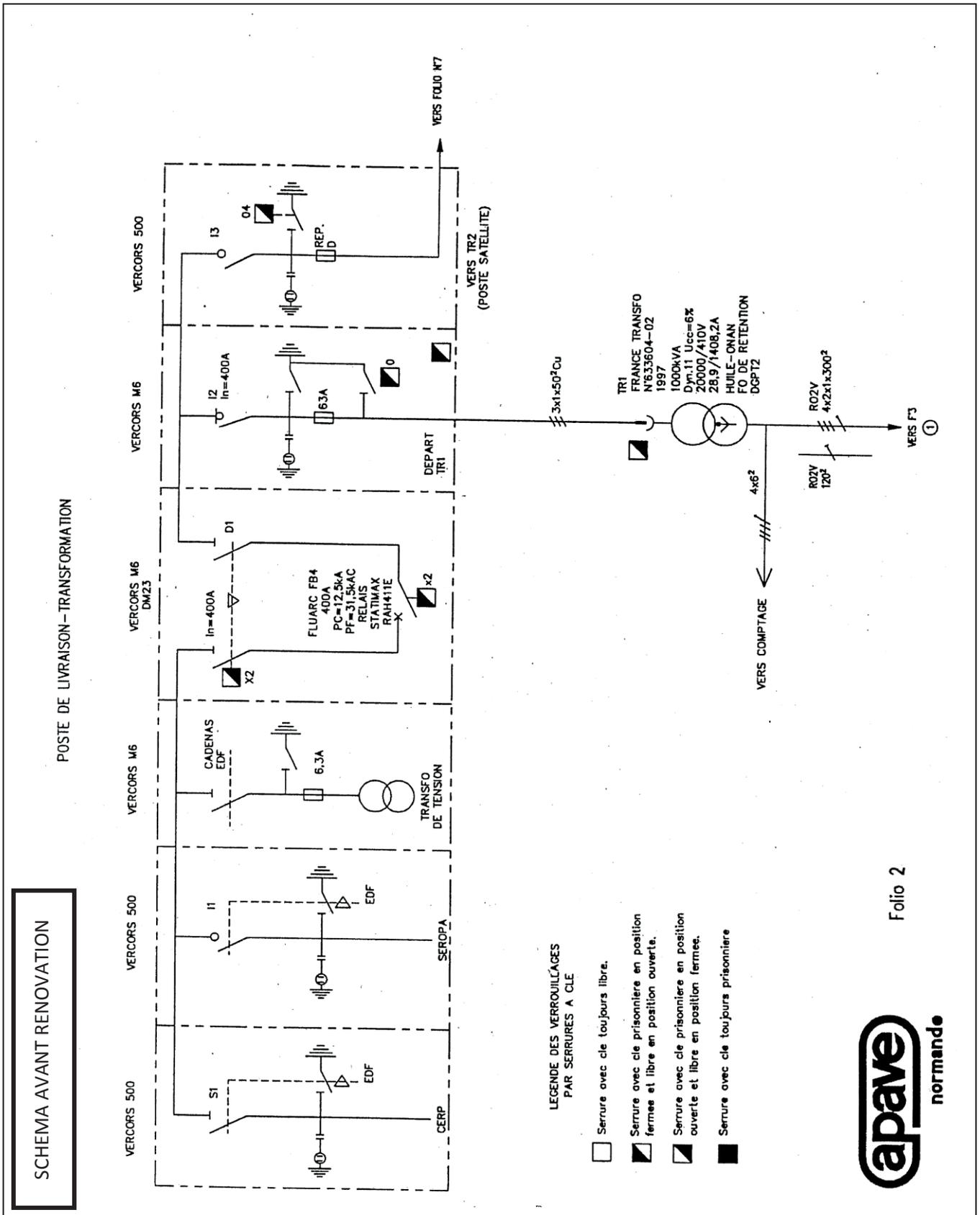
RENOVATION DU POSTE DE TRANSFORMATION N°2

L'entreprise LISI MEDICAL ORTHOPEADICS entreprend la rénovation complète du poste de transformation n°2 (repère n°2 sur le plan d'implantation de l'usine page 5/14). Souhaitant prendre en compte la maîtrise énergétique et l'impact environnemental lié à ce changement, les services techniques ont décidé l'implantation de nouveaux transformateurs exempt de PCB et à haut rendement.

Cahier des charges de la rénovation du poste de transformation n°2 :

- changement des transformateurs TR2 et TR3 par des transformateurs haut rendement à huile minérale exempt de PCB ;
- majoration de la puissance de TR2 afin d'anticiper l'extension des lignes de production ;
- maintien de la puissance initiale de TR3 ;
- changement des cellules HTA du poste n°2 afin d'intégrer celui-ci dans le réseau en coupure d'artère déjà présent sur le site dans le poste n°1 ;
- utilisation de cellules de type SM6 (raccordement par le bas) ;
- protection des transformateurs par fusibles.

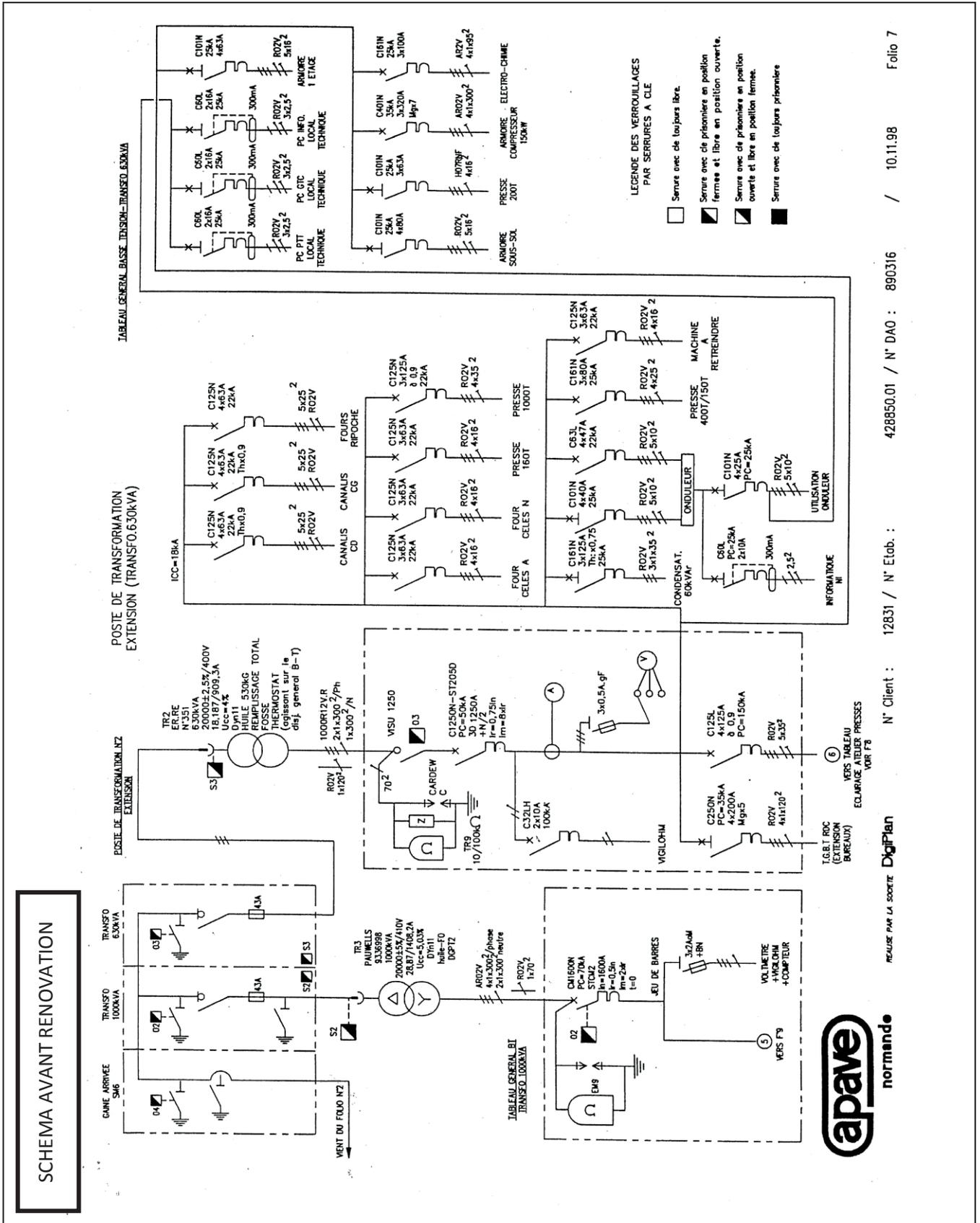




Folio 2



Réseau électrique HT/BT



Centrales de traitement d'air (Dépoussiéreurs)

L'opération finale de polissage permet de donner un état de surface parfait aux prothèses. Cette tâche est effectuée manuellement, par des opérateurs, à l'aide de ponceuses à bande.

Cette phase du processus de production génère une forte densité de poussières qui est évacuée à l'aide de puissantes centrales de traitement d'air (appelées également dépoussiéreurs – repérés 1 et 6 sur le plan de l'usine page 5/14) qui jouent le rôle d'aspirateurs de particules.

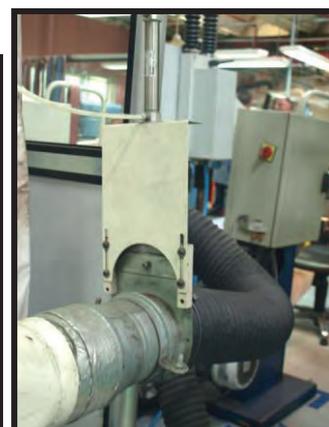
Chaque centrale de traitement de l'air assure l'aspiration d'un groupe de ponceuses à bande. Un réseau aéraulique permet de relier chaque ponceuse à cette centrale. La mise en marche de la ponceuse libère un clapet qui ouvre le conduit d'aspiration des poussières de polissage.



Vue d'une ponceuse à bande



Opération de polissage



Détail du clapet de fermeture

L'aspiration de l'air vicié des zones de polissage est assurée par 5 dépoussiéreurs à voie humide, équipés de ventilateurs dont le débit individuel est compris entre 7000 et 10 000 m³/h.

Chaque dépoussiéreur est équipé d'un moteur de 15 kW qui est commandé localement, à partir d'un coffret de dimensions 500 x 500 x 200 mm (H, L, P).

Actuellement, la mise en service des dépoussiéreurs, s'effectue par un opérateur le lundi matin à 5h. Les dépoussiéreurs restent en fonctionnement toute la semaine jusqu'à leur arrêt par l'équipe en poste, le samedi à 12h.

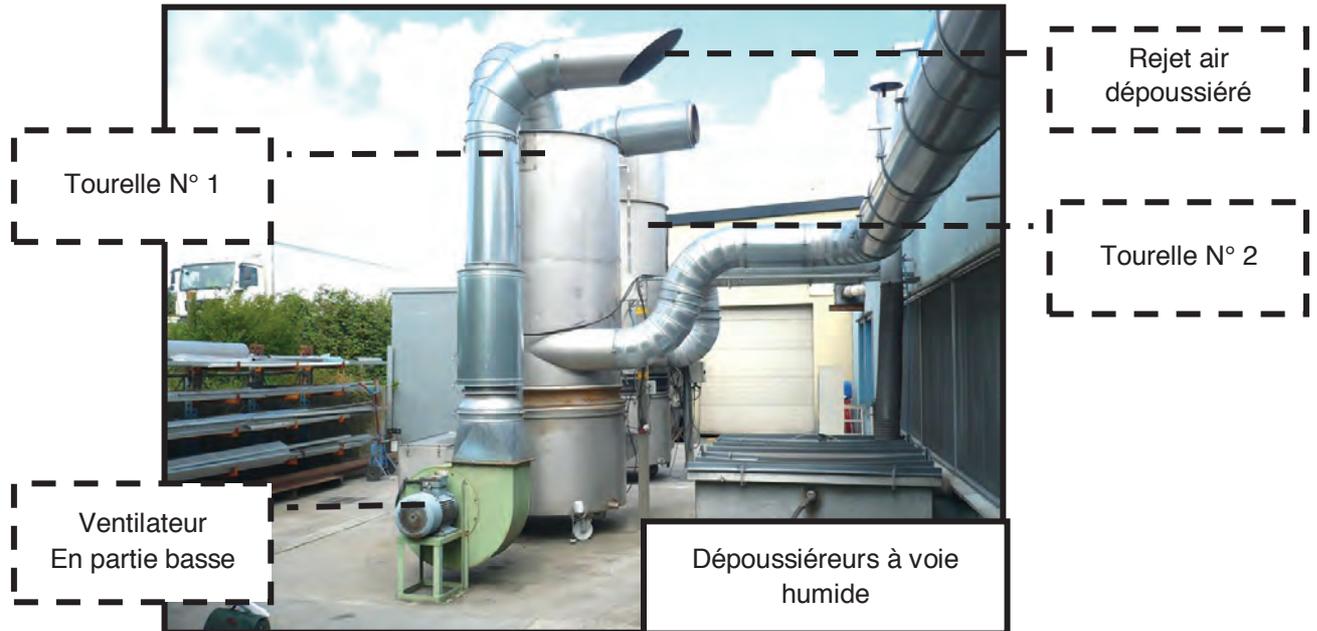
L'audit a mis en évidence que les besoins réels d'aspiration, dépendant des temps de production étaient estimés à 18 h les jours de la semaine et à 7 h le samedi, 50 semaines par an.

Jour	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
Horaire	5h.....23h	5h.....23h	5h.....23h	5h.....23h	5h.....23h	5h.....12h
Production						
Dépoussiéreurs						

Le rapport d'audit énergétique propose :

- la mise en place d'horloges communicant ou pas avec la GTB. Elles piloteraient les différentes aspirations suivant les besoins en tenant compte des réduits et des périodes non travaillées. Le coût estimé de cette action serait de 4 k€ HT pour les cinq aspirateurs.
- la mise en place d'une VEV (variation électronique de vitesse) sur les moteurs de ventilation. Le coût d'un variateur pour une puissance de 15 kW serait de 4 k€ HT. Le potentiel de gain économique est estimé à 15 % par rapport à la situation actuelle (moteurs en démarrage direct).

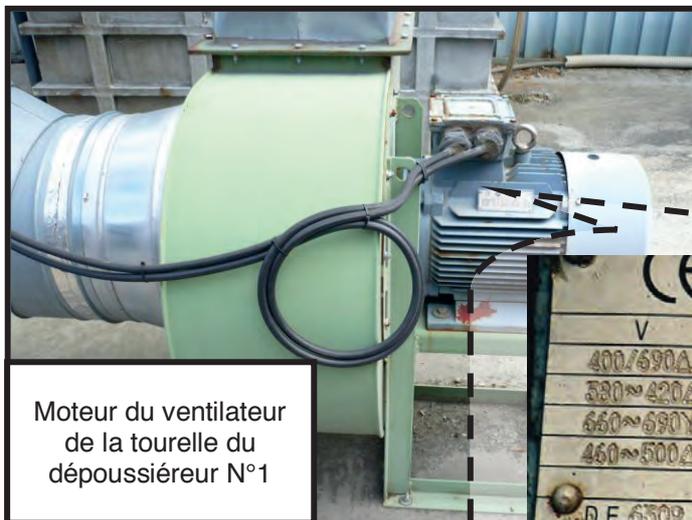
Centrales de traitement d'air (Dépoussiéreurs)



Cas de la ventilation équipée d'un variateur de vitesse

Suite à des essais, la vitesse retenue pour l'air dans les gaines d'aspiration est de 20m/s. Cette vitesse garantit l'absence de dépôts sans augmentation nuisible du niveau sonore.

Pour répondre à cette contrainte d'exploitation, Il faut maintenir constante la différence de pression entre la pression atmosphérique et la pression dans la gaine centrale, au plus près du moto-ventilateur. Pour cela, il est nécessaire de faire varier la vitesse de rotation des moteurs d'aspiration.



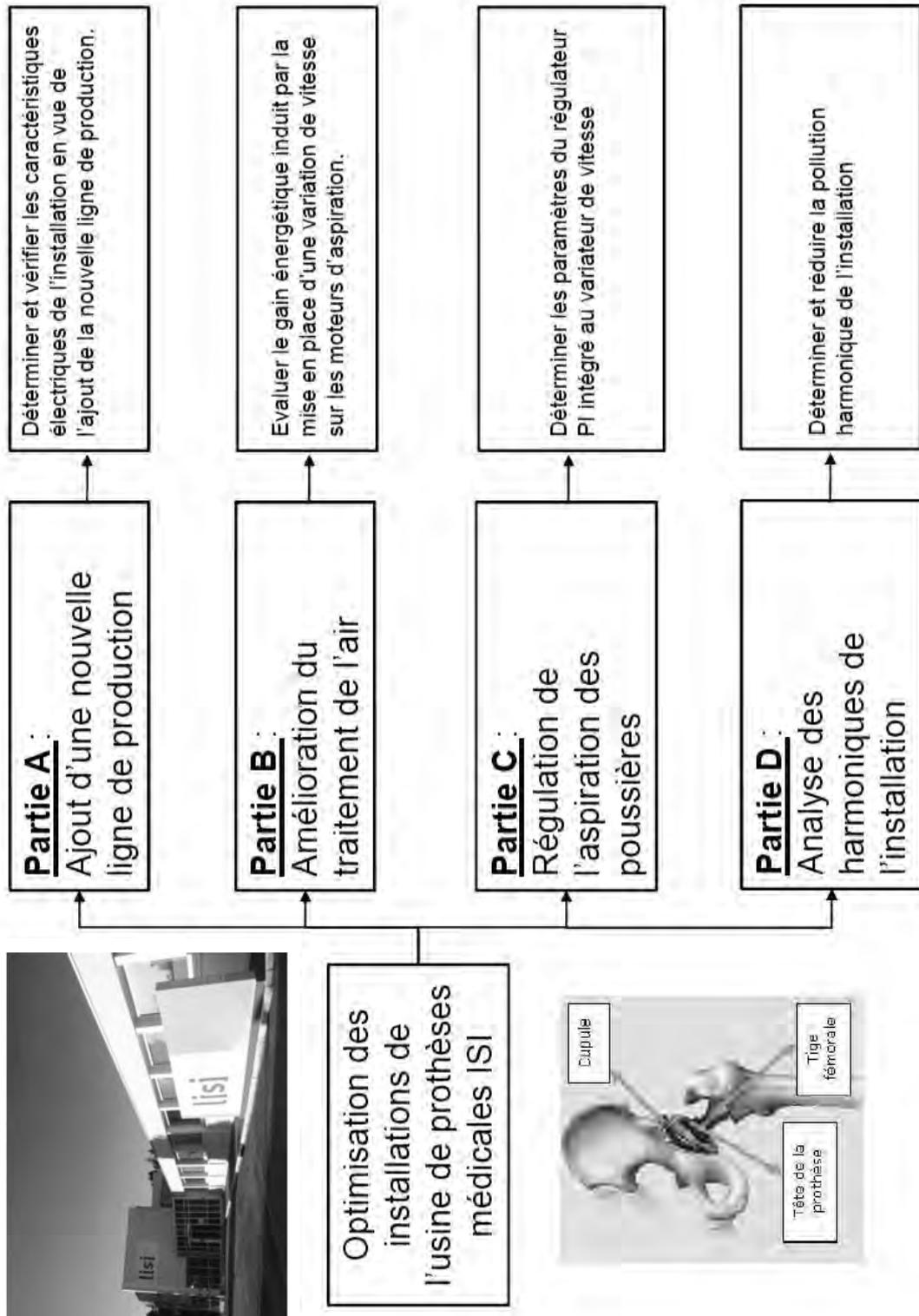
Plaque signalétique du moteur du ventilateur du dépoussiéreur N°1

V	Hz	kW	A	min ⁻¹	cos φ
400/690A/Y	50	15	27,5/15,9	2940	0,89
580~420A	50	15	29,4~26,8	2950~2950	0,88~0,85
660~590Y	50	15	17,0~15,9	2950~2940	0,88~0,87
460~500A	60	18	28,4~26,6	3555~3545	0,90~0,85

D.E. 6309 5000h/30cm³ N.D.E. 6309 5000h/30cm³

DOSSIER TRAVAIL DEMANDÉ

USINE DE PROTHESES MEDICALES ISI
OPTIMISATION DES INSTALLATIONS
 Présentation du questionnement



USINE DE PROTHESES MEDICALES ISI
OPTIMISATION DES INSTALLATIONS
Présentation du questionnaire

PARTIE A : AJOUT D'UNE LIGNE DE PRODUCTION.....	4
A1. Bilan des puissances au niveau du transformateur TR2.....	4
A2. Compensation de l'énergie réactive après extension	6
A3. Détermination des caractéristiques du disjoncteur protégeant la nouvelle ligne de production. (DR page 3).....	8
A4. Protection des personnes sur la nouvelle ligne de production.	10
A5. Validation de la section du câble alimentant la nouvelle ligne de production à partir de la chute de tension admissible (DR page 7)	14
PARTIE B : TRAITEMENT DE L'AIR DE L'ATELIER DE FABRICATION.....	16
B1. Puissance d'un aspirateur sans variateur (DR page 8).....	17
B2. Puissance d'un aspirateur avec variateur.....	19
B3. Rendement du moteur d'aspiration sans le variateur (DR page 11).....	20
B4. Analyse énergétique avec variateur et sans variateur.	24
PARTIE C : REGULATION DE L'ASPIRATION DES POUSSIÈRES	26
(DR page 12)	26
C1. Fonction de transfert.	26
C2. Régulation PID.....	27
PARTIE D : ANALYSE HARMONIQUE DE L'INSTALLATION	28
D2. Détermination du taux distorsion harmonique provoqué par le variateur (DR page 13).....	29
D3. Filtrage des harmoniques (DR page 13)	31

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																								
Prénom :	<input type="text"/>																								
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>									
<i>(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)</i>																									

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE GET 1

**Partie A : A1 - A1.1 à A1.6
A2 - A2.1 et A2.2**

PARTIE A : AJOUT D'UNE LIGNE DE PRODUCTION



L'entreprise désire accroître sa productivité dans la fabrication des prothèses médicales en ajoutant une ligne de production dont les caractéristiques sont les suivantes :

$$P_{up} = 140 \text{ kW (Puissance utile de la ligne de production)}$$

$$\eta_p = 81\%$$

$$\cos \varphi_p = 0,79$$

A1. Bilan des puissances au niveau du transformateur TR2

Le but de cette partie est de vérifier que la puissance du transformateur TR2 est suffisante pour qu'il puisse supporter l'ajout de la nouvelle ligne de production.

Un relevé (avant extension), lorsque l'usine fonctionne à plein régime, en aval de TR2, donne les résultats suivants :

$$\cos \varphi_{ave} = 0,93$$

$$P_{ave} = 530 \text{ kW}$$

A1.1. Déterminer la puissance réactive Q_{ave} et apparente S_{ave} en aval de TR2 avant extension.

A1.2. Déterminer la nouvelle puissance active P_{ape} , réactive Q_{ape} et apparente S_{ape} après extension.

A1.3. Déterminer, par conséquent, le nouveau facteur de puissance $\cos \varphi_{ape}$ de l'installation

A1.4. Synthèse : Déterminer si le transformateur peut supporter l'ajout de la nouvelle ligne de production. Justifier votre réponse.

A1.5. Lister les différentes solutions permettant au transformateur de supporter l'ajout de la nouvelle ligne de production.

A1.6. Dans notre cas, peut-on augmenter la puissance disponible en compensant l'énergie réactive ? Justifier votre réponse.

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																								
Prénom :	<input type="text"/>																								
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>									
<i>(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)</i>																									

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE GET 1

**Partie A : A2 - A2.3 et A2.4
A3 - A3.1 à A3.3**

A2.3. Calculer la puissance apparente S_{COMP} après compensation.

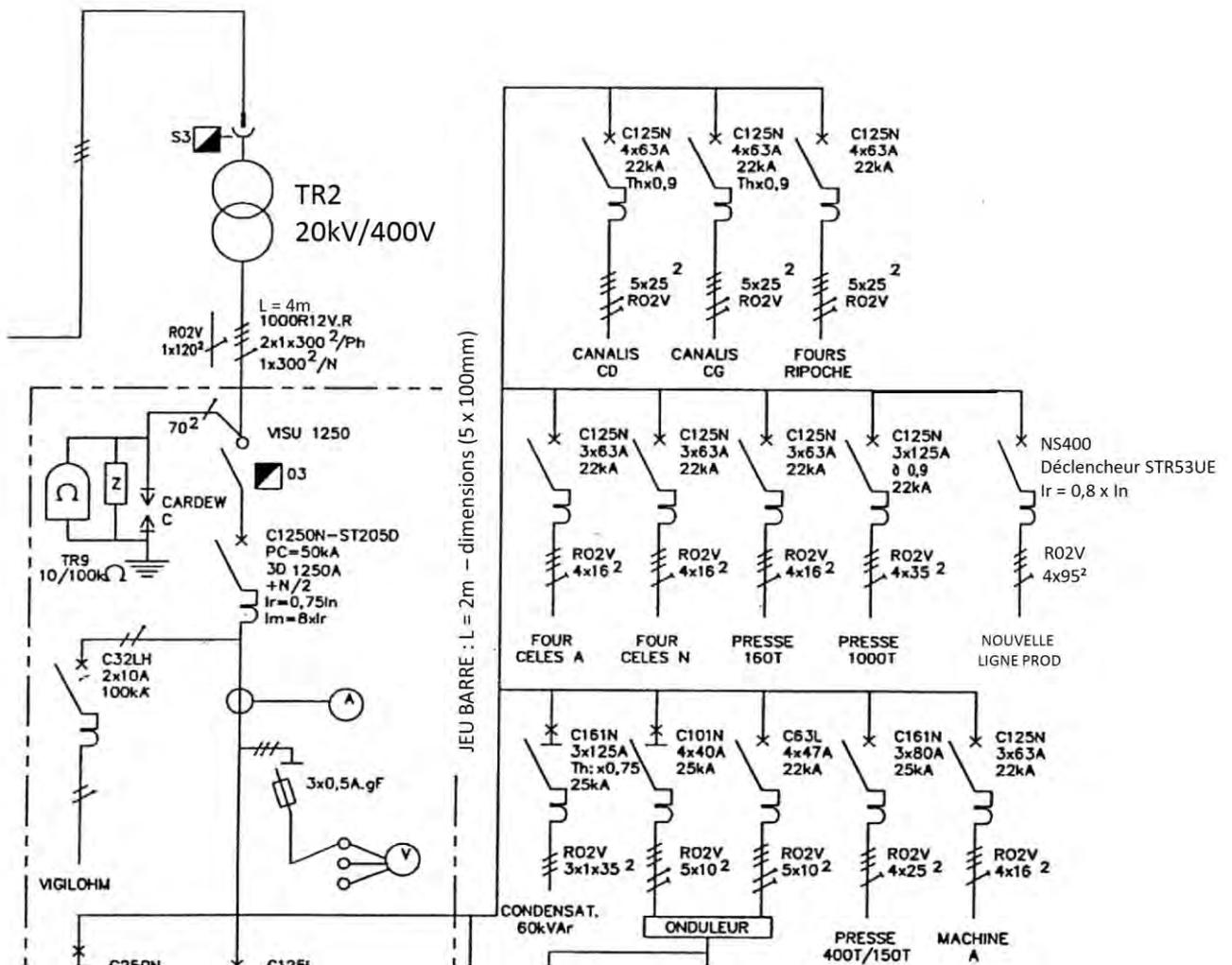
A2.4. Calculer le courant de ligne I en aval de TR2.

A3. Détermination des caractéristiques du disjoncteur protégeant la nouvelle ligne de production. (DR page 3)

On vous propose de déterminer les caractéristiques du disjoncteur protégeant la nouvelle ligne de production.

A3.1. Calculer le courant absorbé par la nouvelle ligne de production.

Extrait du schéma unifilaire des départs au niveau du transformateur TR2 :



A3.2. Remplir le tableau ci-dessous en déterminant les résistances et réactances de chaque tronçon du circuit afin de calculer un I_{cc3} au niveau de la nouvelle ligne de production (faire apparaître vos calculs).

Calcul du courant de court-circuit		
	Résistances ($m\Omega$)	Réactances ($m\Omega$)
Réseau amont $S_{KQ}=500MVA$		
Transformateur TR2 1000 kVA		
Liaison Transformateur TR2 / Disjoncteur C1250N Longueur câble : 4m Câble uni jointif		
Disjoncteur C1250N		
Jeu de barres Longueur : 2m Dimension : 100 x 5 mm		
Disjoncteur nouvelle ligne de production		
TOTAL		

A3.3. Synthèse : Lister ci-dessous les caractéristiques qui permettront de choisir le disjoncteur de la nouvelle ligne de production.

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																								
Prénom :	<input type="text"/>																								
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>									
<i>(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)</i>																									

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE GET 1

Partie A : A4 - A4.1 à A4.8

A4. Protection des personnes sur la nouvelle ligne de production.

Le coordinateur hygiène et sécurité de l'entreprise a recensé dans les 10 dernières années plusieurs incidents d'origine électrique sur les lignes de production.

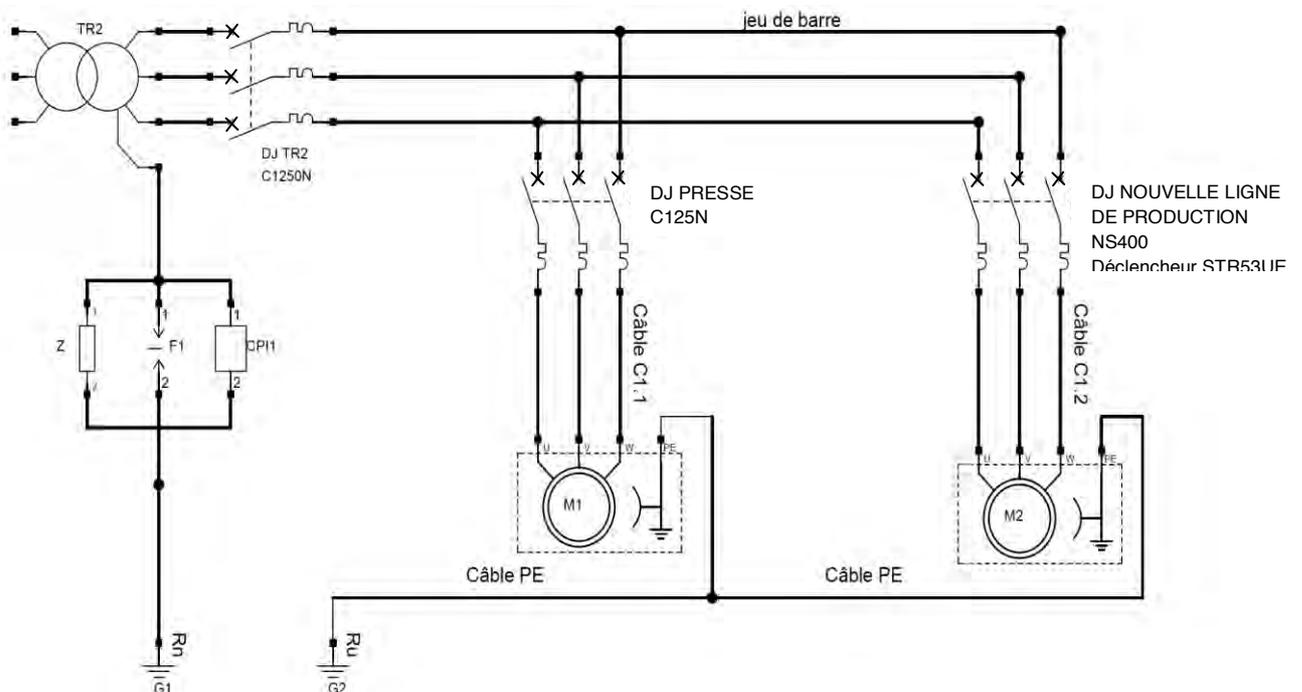
L'ajout de la nouvelle ligne de production est l'occasion de vérifier que la sécurité des personnes est bien assurée pour la nouvelle ligne de production et pour la presse 1000T voisine.

On se place dans le cas de défauts francs : $R_d = 0\Omega$ et d'un local sec.

A4.1. Identifier le schéma de liaison à la Terre de l'installation et préciser les avantages et inconvénients de ce type de SLT.



Schéma simplifié du circuit d'alimentation de la nouvelle ligne de production et de la presse voisine :

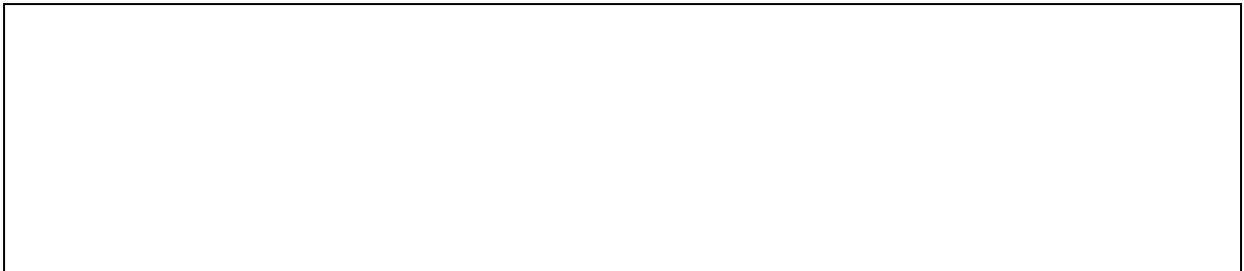


A4.2. Un premier défaut apparaît sur le circuit PRESSE 1000T entre la phase 3 et la carcasse métallique du moteur, tracer **en rouge** la boucle du courant de défaut I_{d1} sur le schéma simplifié (page 10).

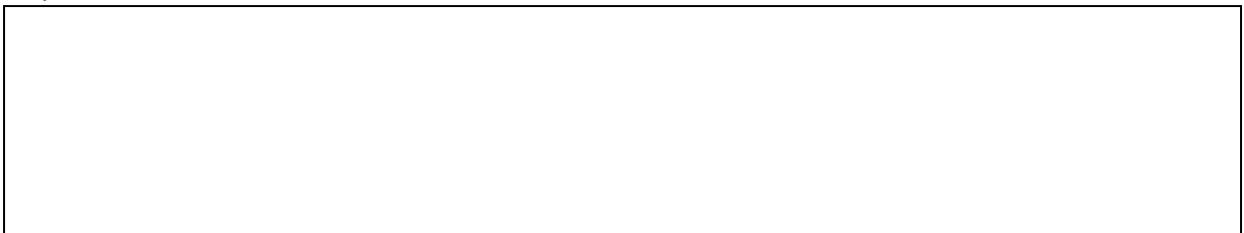
A4.3. Tracer le schéma équivalent de la maille permettant de mettre en évidence la circulation du courant de défaut I_{d1} , la tension de contact U_{c1} et les impédances.



A4.4. Quelle approximation peut-on faire dans le cas de ce défaut concernant $Z_{\text{jeu barre}}$, $Z_{C1.1}$, Z_{PE} ?



A4.5. Calculer le courant de défaut I_{d1} et la tension de contact U_{c1} sachant que le type de réseau est triphasé 230/400V, $R_u = R_n = 2,4\Omega$



A4.6. Synthèse : Conclure sur les résultats obtenus lors du 1^{er} défaut.

A4.7. Un deuxième défaut apparaît sur le circuit de la nouvelle ligne de production entre la phase 1 et la carcasse métallique du moteur, tracer **en bleu** la boucle du courant de défaut I_{d2} sur le schéma simplifié (page 10).

Les courants de défaut à la terre seront négligés.

A4.8. Tracer le schéma équivalent de la maille permettant de mettre en évidence la circulation du courant de défaut I_{d2} , la tension de contact U_{c2} et les impédances.

On donne les caractéristiques des câbles :

	R	X
Z jeu barre	0,07 mΩ	0,3 mΩ
Z C1.1	32 mΩ	4 mΩ
Z PE1	32 mΩ	4 mΩ
Z C1.2	24 mΩ	8 mΩ
Z PE2	24 mΩ	8 mΩ

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
Prénom :	<input type="text"/>																							
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

<input type="checkbox"/>	Concours	<input type="text"/>	Section/Option	<input type="text"/>	Epreuve	<input type="text"/>	Matière	<input type="text"/>
--------------------------	-----------------	----------------------	-----------------------	----------------------	----------------	----------------------	----------------	----------------------

EFE GET 1

**Partie A : A4 - A4.9 et A4.10
A5 - A5.1 à A5.4**

A4.9. En négligeant le courant de défaut passant dans R_u , calculer le courant de défaut I_{d2} et la tension de contact U_c sur chacun des récepteurs.

A4.10. Synthèse : Ce défaut est-il dangereux ? Comment la protection sera-t-elle assurée sur la nouvelle ligne de production? Justifier votre réponse. (DR page 5)

A5. Validation de la section du câble alimentant la nouvelle ligne de production à partir de la chute de tension admissible (DR page 7)

On se propose de dimensionner le câble alimentant la nouvelle ligne de production en déterminant la section minimale de celui-ci.

La chute de tension entre le transformateur TR2 et le disjoncteur de la nouvelle ligne de production est $\Delta U = 0,2\%$.

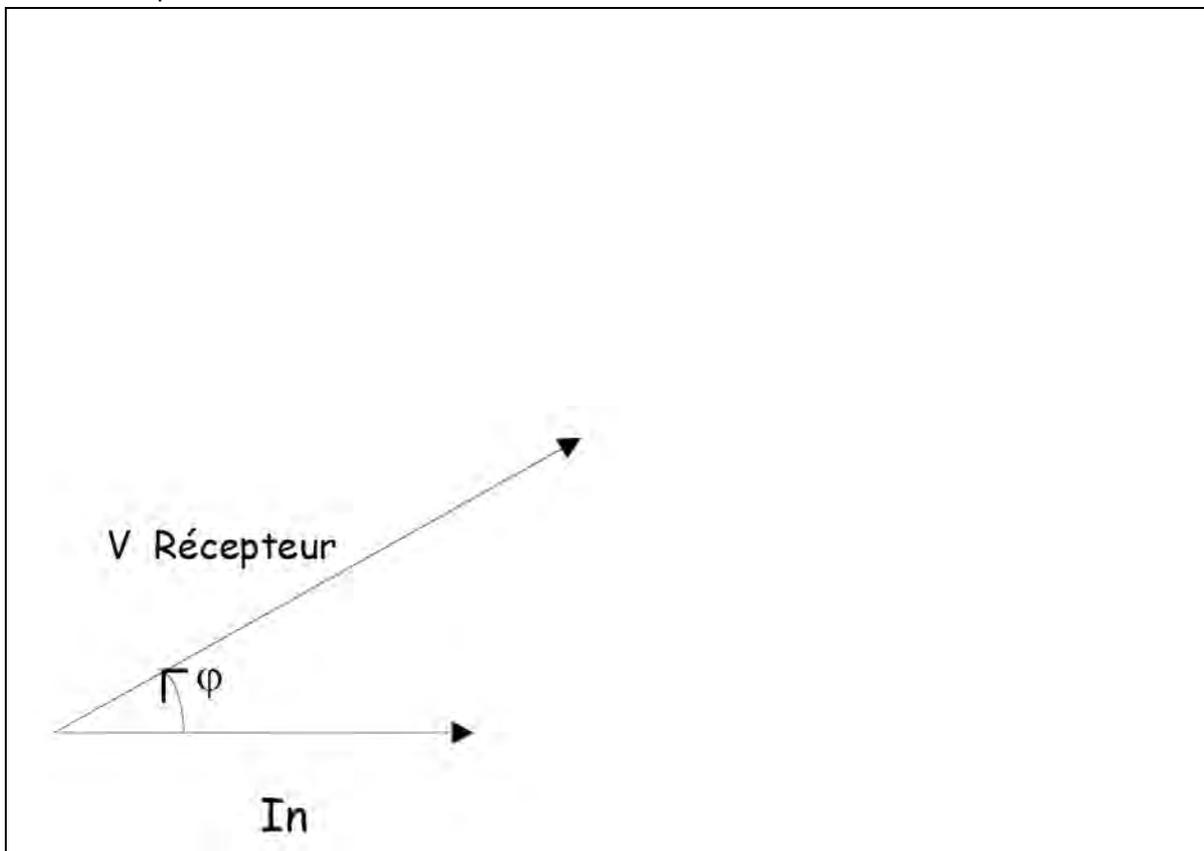
On admet un courant nominal de 320A.

Nous rappelons la résistivité du cuivre : $22,5 \Omega/\text{mm}^2/\text{km}$ et le facteur de puissance $\cos = 0,79$ Le câble reliant le disjoncteur à la nouvelle ligne de production mesure 100m.

Pour calculer la chute de tension dans un câble, on applique généralement la relation rapprochée suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_b (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)$$

A5.1. Compléter ci-dessous le diagramme de Fresnel permettant de déduire la relation ci-dessus en admettant que $I_n \approx I_b$.



A5.2. Démontrer la formule de la chute de tension et préciser l'hypothèse simplificatrice permettant de l'obtenir.

A5.3. On admet que $X_{\text{câble}} = 0,08 \text{ } \Omega/\text{km}$, retrouver la section minimale du câble S en mm^2 pour la chute de tension ΔU en vigueur.

A5.4. Conclure à partir des résultats obtenus.

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
Prénom :	<input type="text"/>																							
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE GET 1

Partie B : B1 - B1.1 à B1.7

PARTIE B : TRAITEMENT DE L'AIR DE L'ATELIER DE FABRICATION

La fabrication des prothèses génère, notamment par le ponçage, des projections de poussières nocives. Le traitement de l'air est réalisé à l'aide de 5 aspirateurs extérieurs.

Chaque aspirateur ventile une des 5 zones de l'atelier de fabrication. Dans chaque zone, il y a une buse d'aspiration au dessus de chaque machine. Ces différentes buses sont reliées à une gaine centrale de diamètre 400mm.

Les clapets présents au dessus de chaque machine permettent d'obturer le conduit quand la machine ne fonctionne pas de façon à réduire la charge au niveau du moteur d'aspiration.

La nouvelle ligne de production devra être équipée de nouvelles buses d'aspiration.

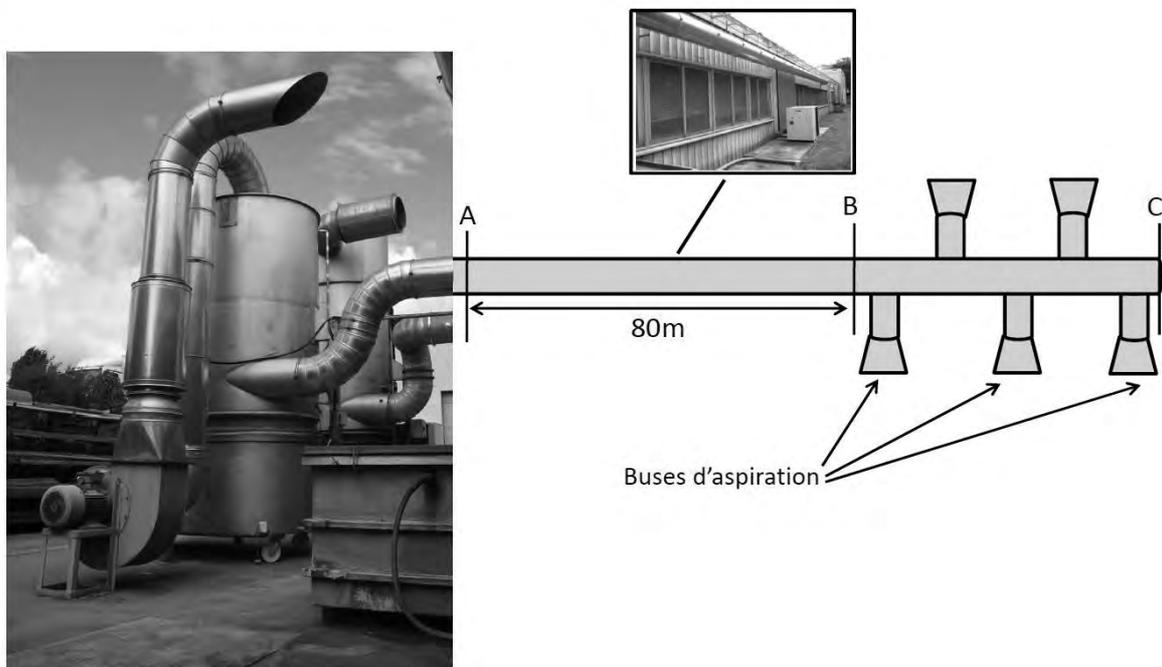
Pour pouvoir réaliser une étude aérodynamique pertinente, nous nous placerons dans 2 cas d'aspiration :

Cas 1 : tous les clapets d'aspiration sont ouverts correspondant à un débit d'aspiration maximal.

Cas 2 : la moitié des clapets d'aspiration sont ouverts correspondant à un débit d'aspiration réduit.

L'installation de la nouvelle ligne de production est l'occasion pour l'entreprise de vérifier que l'aspirateur peut maintenir une pression d'aspiration conforme pour un débit maximal (ensemble des clapets ouverts) et pour un débit réduit (moitié des clapets ouverts) et de mettre en évidence l'intérêt d'ajouter un dispositif de variation de vitesse sur l'ensemble moto-aspirateur.

Voici un schéma équivalent et simplifié de cette nouvelle ligne d'aspiration :



B1. Puissance d'un aspirateur sans variateur (DR page 8)

La gaine centrale a un diamètre de 400mm.

Rappel : Les caractéristiques de cette zone de travail nécessitent une vitesse de 20 m.s^{-1} pour éviter les dépôts de poussières dans les tuyaux.

B1.1. Calculer le débit de l'air Q à maintenir dans la gaine centrale lorsque tous les clapets seront ouverts (exprimer la valeur en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ et $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$).

Nous allons déterminer les pertes de charge linéique dans la conduite de ventilation entre les points A et B de la gaine.

On précise que la viscosité cinématique est $\nu = 1,475 \times 10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, la température ambiante est de 20°C et la rugosité absolue est $\varepsilon = 0,09 \text{ mm}$ sachant que les canalisations sont en acier zinguées.

B1.2. Après avoir déterminé le régime d'écoulement du fluide, calculer le coefficient de frottement F_a

B1.3. Pour simplifier l'étude, on considère la gaine de ventilation à une altitude de $H = 0\text{m}$. Calculer la masse volumique de l'air ρ en $\text{Kg}.\text{m}^{-3}$.

B1.4. Calculer les pertes de charge linéiques unitaire r en $\text{Pa}.\text{m}^{-1}$.

On estime à partir de maintenant, des pertes de charge linéiques unitaires entre A et B : $r = 45 \text{ Pa.m}^{-1}$

Une étude aéraulique après extension donne une estimation des pertes de charges dans le réseau d'aspiration entre les points B et C de $\Delta P_{BC} = 16,19 \text{ mBar}$.

B1.5. Déterminer les pertes de charge entre les points A et B puis les pertes de charge totale du circuit Δp_{tot} .

L'étude aéraulique donne une partie des résultats suivants pour le cas n°2 :

Pertes de charge globale : $\Delta p_{\text{tot}} = 5643 \text{ Pa}$; débit dans la gaine centrale : $Q' = 7000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Les grandeurs concernant le fonctionnement tous clapets ouverts se verront attribuer l'indice **tc**, et celles concernant le fonctionnement avec la moitié des clapets ouverts se verront attribuer l'indice **mc**

B1.6. Déterminer la puissance que doit fournir l'aspirateur lorsque tous les clapets sont ouverts et lorsque la moitié des clapets sont ouverts.

B1.7. Déterminer si l'aspirateur supporte l'ajout de la nouvelle buse d'aspiration.

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
Prénom :	<input type="text"/>																							
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE GET 1

**Partie B : B2 - B2.1 et B2.2
B3 - B3.1 à B3.7**

B2. Puissance d'un aspirateur avec variateur

On estime que le variateur adaptera le débit au besoin réel lorsque la moitié des clapets seront ouverts à $Q' = 5000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

On considère que les pertes de charges lorsque le variateur est installé restent à $\Delta p = 5219 \text{ Pa}$

B2.1. Déterminer la puissance à fournir par l'aspirateur en kW lorsque tous les clapets sont ouverts et lorsque la moitié des clapets sont ouverts.

B2.2. Synthèse : Justifier l'installation du système de variation de vitesse.

B3. Rendement du moteur d'aspiration sans le variateur (DR page 11)

Pour pouvoir vérifier le gain réel pour l'entreprise, nous avons besoin de déterminer le rendement du moteur de ventilation dans le cas n°1 et n°2. Il s'agit également de déterminer l'impact de la charge sur le rendement.

Nous effectuerons la suite de notre étude avec les valeurs suivantes :

<u>Tous les clapets ouverts</u>	<u>Moitié des clapets ouverts</u>
$P_{utc} = 14500W$	$P_{umc} = 12200W$
$\cos \varphi_{tc} = 0,89$	$\cos \varphi_{mc} = 0,87$
$I_{1tc} = 26,9A$	$I_{1mc} = 23,4A$
$N_{tc}=2942 \text{ tr.min}^{-1}$	$N_{mc}=2952 \text{ tr.min}^{-1}$
Tension moteur : 400/690V	

Rappel : les grandeurs concernant le fonctionnement tous clapets ouverts se verront attribuer l'indice **tc**, et celles concernant le fonctionnement avec la moitié des clapets ouverts se verront attribuer l'indice **mc**

B3.1. Déterminer le couple T à développer par ce moteur lorsque tous les clapets seront ouverts et lorsque la moitié des clapets seront ouverts.

B3.2. Déterminer le couplage du moteur. Justifier votre réponse.

B3.3. Réaliser ci-dessous le schéma équivalent d'une phase du moteur vu du stator. Les notations utilisées pour les grandeurs du schéma seront I_0 , I_1 , I_2 , V , R_s , R_f , X_f , X_2 et R_2

B3.4. Donner la signification de R_s , R_f , X_f , R_2/g , X_2 .

*Dans le but d'évaluer les pertes, nous avons réalisé un essai à vide : $\cos \varphi_0 = 0,09$; vitesse de rotation à vide $N_0 =$ vitesse synchronisme N_s ; $p = 1$ paire de pôles, $I_0 = 9,1A$.
Une mesure à chaud de la résistance entre 2 phases donne $R=0,36\Omega$*

B3.5. Calculer la résistance statorique R_s .

B3.6. Déterminer les pertes fer P_f .

B3.7. Démontrer par le calcul que l'on peut négliger la chute de tension due à R_s lors de l'essai à vide, calculer par la suite R_f et X_f .

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																								
Prénom :	<input type="text"/>																								
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>									
<i>(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)</i>																									

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE GET 1

**Partie B : B3 - B3.8 à B3.16
B4 - B4.1**

B3.8. Déterminer les 2 termes de la valeur complexe de $\underline{I}_1 = I_{1a} - j I_{1r}$ lorsque tous les clapets sont ouverts et lorsque la moitié des clapets sont ouverts.

B3.9. Déterminer les 2 termes de la valeur complexe de $\underline{I}_0 = I_{0a} - j I_{0r}$.

B3.10. Calculer, par conséquent, la valeur complexe de \underline{I}_{2tc} lorsque tous les clapets sont ouverts et \underline{I}_{2mc} lorsque la moitié des clapets sont ouverts.

B3.11. Déterminer la norme de $\|I_{2tc}\|$ lorsque tous les clapets sont ouverts et $\|I_{2mc}\|$ lorsque la moitié des clapets sont ouverts.

B3.12. Calculer le glissement g pour le fonctionnement tous clapets ouverts et moitié des clapets ouverte. Exprimer la valeur en %.

B3.13. Calculer la valeur de $\underline{Z}_2 = R_2/g + j X_2$ à partir de la loi d'Ohm, puis déterminer la valeur de R_2/g et R_2 avec l'inductance $L_2 = 10$ mH lorsque tous les clapets sont ouverts et lorsque la moitié des clapets sont ouverts. Comparez et commentez les résultats.

B3.14. Déterminer les pertes joules au rotor lorsque tous les clapets sont ouverts et lorsque la moitié des clapets sont ouverts.

Pour la suite, on donne $P_f + P_{meca} = 900W$ et $P_{jrtc} = 300W$ et $P_{jrmc} = 200W$

B3.15. Déterminer le rendement du moteur : η_{mc} pour une aspiration avec la moitié des clapets ouverte et η_{pc} pour une aspiration maximale (tous clapets ouverts)..

B3.16. Synthèse : Proposer un commentaire par rapport aux calculs effectués précédemment.

B4. Analyse énergétique avec variateur et sans variateur.

Sur la nouvelle ligne de production, les valeurs de rendement sont :

$\eta_{\text{avec variateur}}$	$\eta_{\text{sans variateur}}$
88% (rendement variateur compris)	93%

Ces rendements sont considérés comme constants quelque soit la charge.

Tableau simplifié des durées de consommation :

	Nombre d'heure de fonctionnement clapets tous ouverts	Nombre d'heure de fonctionnement moitié des clapets ouverts	Nombre de jours / an
Jour en semaine (lundi au vendredi)	6	12	250
Samedi	0	7	50

B4.1. Déterminer l'énergie consommée W_{tc} lorsque tous les clapets sont ouverts et W_{mc} lorsque la moitié des clapets sont ouverts lorsqu'il n'y a pas de variateur pour une année (voir tableau partie B3).

--

Nous admettons les valeurs de puissances utiles suivantes avec variateur :

$P_{\text{tous clapets}}$	$P_{\text{moitié clapets}}$
13100 W	7202 W

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																								
Prénom :	<input type="text"/>																								
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>									
<i>(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)</i>																									

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE GET 1

Partie B : B4 - B4.2 et B4.3
Partie C : C1 - C1.1 et C1.2
C2 - C2.1 à C2.3

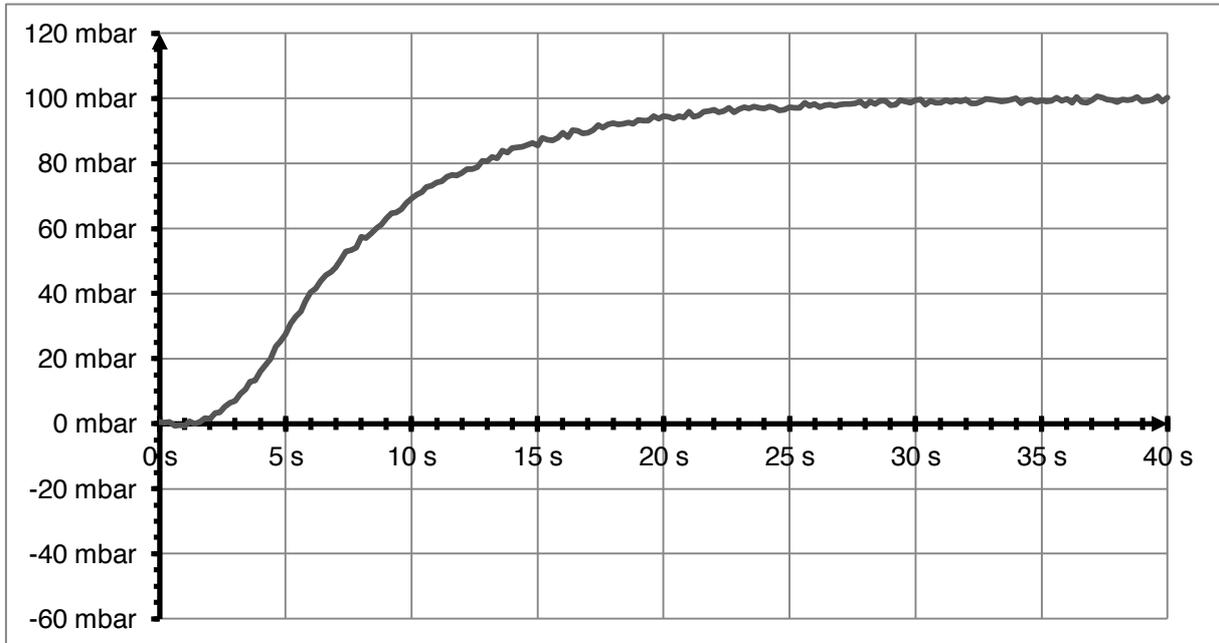
B4.2. Déterminer l'énergie consommée W_{tc} lorsque tous les clapets sont ouverts et W_{mc} lorsque la moitié des clapets sont ouverts lorsqu'il y a un variateur pour une année.

B4.3. Synthèse : Mettre en évidence l'économie d'énergie réalisée grâce à la mise en place de la variation de vitesse sur les aspirateurs.

PARTIE C : REGULATION DE L'ASPIRATION DES POUSSIERES (DR page 12)

Afin de maintenir le débit d'air constant dans chaque bouche des lignes d'aspiration, et ce quel que soit le nombre de bouches ouvertes, il est nécessaire de réguler la pression dans la gaine principale. C'est donc la variation de vitesse du moteur d'aspiration sur une ligne qui permet de maintenir la pression constante dans la gaine principale d'aspiration.

La réponse en boucle ouverte a donné la réponse indicielle suivante sur la dépression dans la gaine principale:



C1. Fonction de transfert.

C1.1. A partir de la méthode Ziegler-Nichols développée dans le dossier ressource, identifier le type de la fonction de transfert correspondant à la courbe relevée.

C1.2. Identifier les différents paramètres de cette fonction de transfert K,L et T.

C2. Régulation PID.

Le variateur de vitesse intègre un régulateur PID que l'on souhaite utiliser pour réguler la pression dans la gaine d'aspiration principale.

C2.1. Donner la signification et l'action de chaque terme de PID.

C2.2. Etablir le schéma de principe de la boucle de régulation en y intégrant le régulateur, le variateur, le système d'aspiration et le capteur de pression. Placez également sur votre schéma la consigne, la mesure, l'erreur et la commande.

C2.3. A partir de la méthode Ziegler Nichols idéalisée développée dans le dossier ressources, déterminer la valeur des paramètres de réglage du régulateur:
Effectuer vos tracés directement sur le graphique.
Conclure sur la pertinence de vos résultats.

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
Prénom :	<input type="text"/>																							
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

<input type="checkbox"/>	Concours	<input type="text"/>	Section/Option	<input type="text"/>	Epreuve	<input type="text"/>	Matière	<input type="text"/>
--------------------------	-----------------	----------------------	-----------------------	----------------------	----------------	----------------------	----------------	----------------------

EFE GET 1

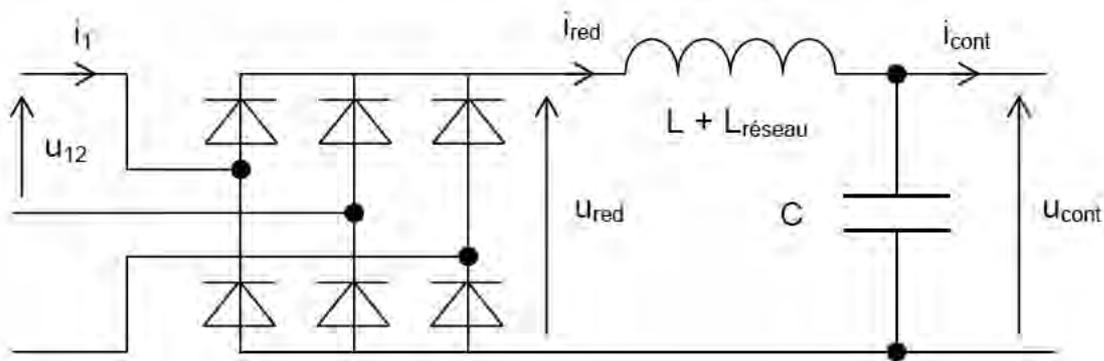
Partie D : D1 D2 - D2.1 à D2.5

PARTIE D : ANALYSE HARMONIQUE DE L'INSTALLATION

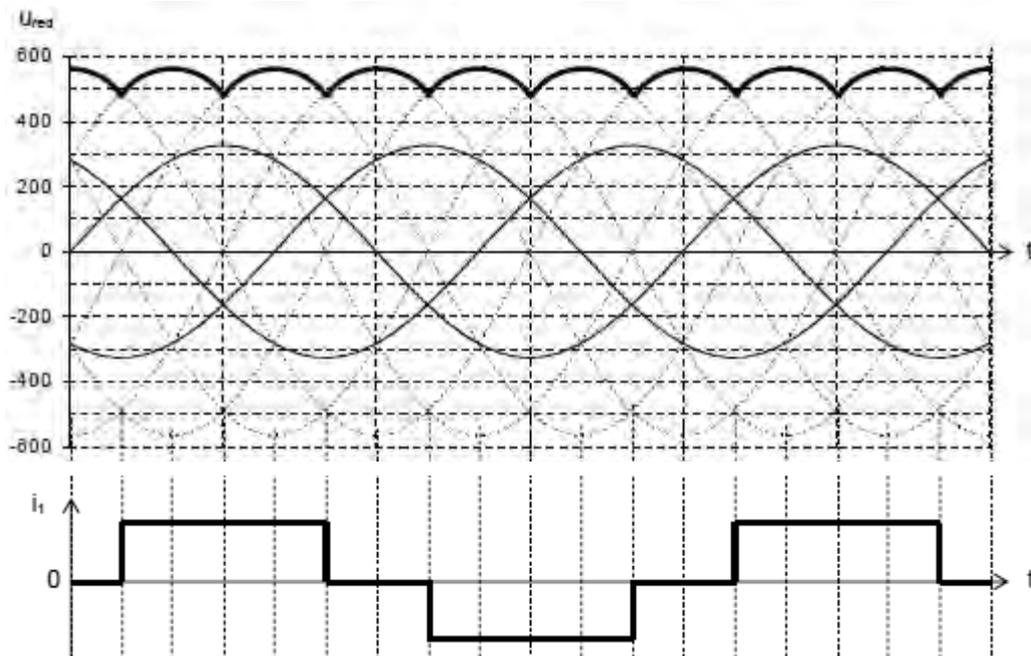
D1. Sur ce type d'installation industrielle, quels sont les récepteurs susceptibles de générer de la pollution harmonique ?

Pour cette étude, nous chercherons à réduire les perturbations harmoniques provoquées par le variateur associé à l'aspirateur de poussière nouvellement installé en étudiant notamment le courant absorbé par celui-ci.

Schéma équivalent simplifié :



Relevé des signaux du variateur :



La tension entre phases au secondaire du transformateur est $U = 400 \text{ V}$.
On suppose enfin que le pont redresseur est en conduction ininterrompue.

Le variateur de vitesse proposé a une structure de puissance classique : redressement hexaphasé par pont de diodes PD3, filtrage par condensateur suivi d'un onduleur à modulation de largeur d'impulsion. Une inductance triphasée de $330 \mu\text{H}$, placée en amont du redresseur, est fournie avec le variateur. Cette inductance permet de limiter les courants harmoniques ainsi que la valeur crête du courant absorbé par le variateur.

Le courant i_1 a la même allure si on remplace $(L + L_{\text{réseau}})$ par une inductance triphasée placée en amont.

D2. Détermination du taux distorsion harmonique provoqué par le variateur (DR page 13)

D2.1. Déterminer la valeur maximale du courant \hat{i}_1 sachant qu'on néglige les pertes du variateur. Nous prendrons les caractéristiques du moteur de ventilation suivantes :

$P_u = 13 \text{ kW}$; $\eta \approx 93\%$

D2.2. Dédurre de la forme du courant, s'il existe des harmoniques pairs ou impairs

On vous rappelle le principe de la décomposition d'un signal en série de Fourier :

$$i(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \sin k\omega t + b_n \cos k\omega t)$$

Avec $a_k = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \sin k\omega t dt$ et $b_k = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cos k\omega t dt$

D2.3. Montrer que le courant $i_1(t)$ s'écrit $i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4 \cdot \hat{I}_1}{\pi} \cdot \frac{\cos[(2n+1)\pi/6]}{(2n+1)} \sin[(2n+1)\omega t]$

D2.4. Calculer ci-dessous les valeurs **efficaces** des courants harmoniques de rang k : I_k à partir de la formule de $i(t)$. On prendra $\hat{I}_1 = 26A$

Rang	1	3	5	7	11	13	15
I_k							
I_k^2							

D2.5. Calculer le taux de distorsion Harmonique THD en se limitant au rang 15 (exprimer la valeur en %).

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
Prénom :	<input type="text"/>																							
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

<input type="checkbox"/>	Concours	<input type="text"/>	Section/Option	<input type="text"/>	Epreuve	<input type="text"/>	Matière	<input type="text"/>
--------------------------	-----------------	----------------------	-----------------------	----------------------	----------------	----------------------	----------------	----------------------

EFE GET 1

**Partie D : D2 - D2.6 et D2.7
D3 - D3.1 à D3.4**

D2.6. D'après l'extrait de la norme NFC15-100 donné dans le dossier ressource, déterminer le niveau de pollution harmonique de l'installation.

D2.7. Synthèse : D'après vos calculs, déterminer l'incidence des courants harmoniques et les différentes solutions qui permettraient de lutter contre ces courants.

D3. Filtrage des harmoniques (DR page 13)

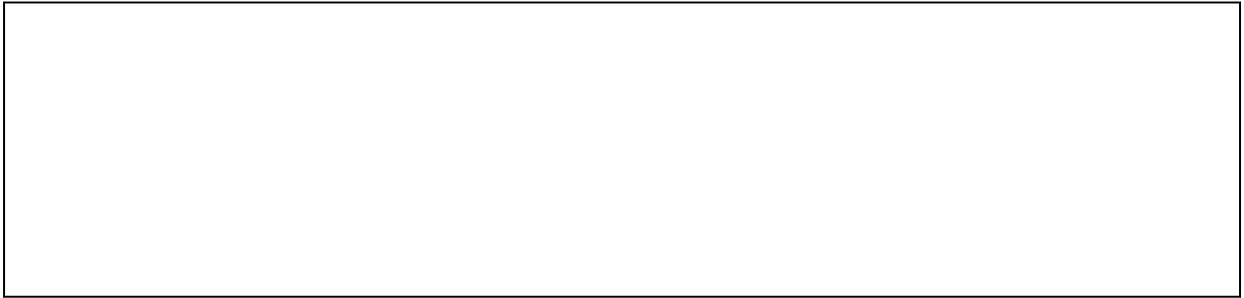
On se propose d'annuler les harmoniques de rang 5 et 7 en plaçant un filtre de type RLC série entre chaque phase et le neutre ($V = 230V$).

D3.1. Cela nous permet-il de réduire la pollution harmonique à un niveau acceptable ?

Le facteur de qualité de ce filtre est $Q_0 = X_0 / R = 90$ avec $X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$

*Il faudra que l'impédance de l'inductance soit égale à l'impédance du condensateur.
On admettra une résistance $R = 2\Omega$.*

D3.2. Dessiner ci-dessous le schéma équivalent de ce filtre.



D3.3. Déterminer les paramètres L et C pour une pulsation de $k\omega$.

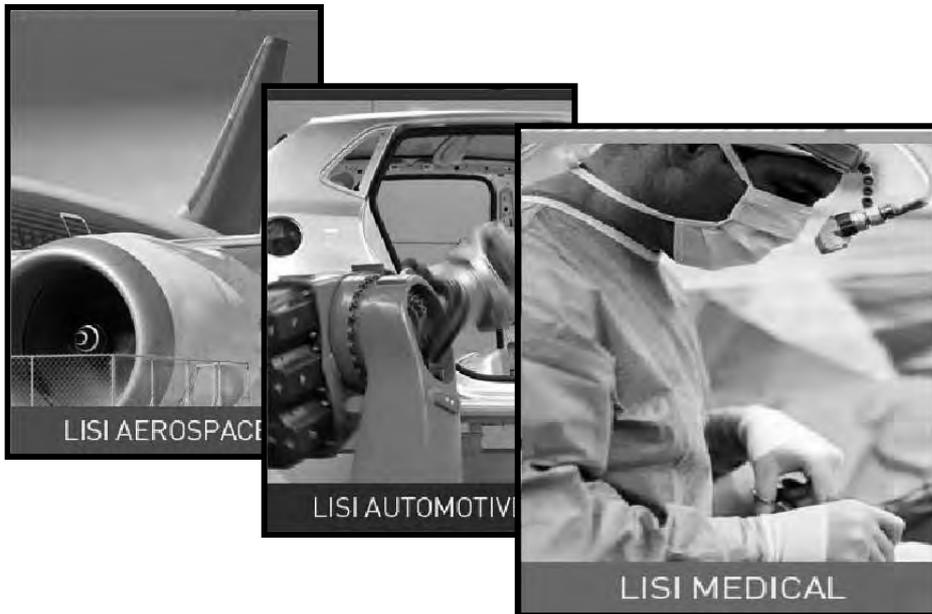


D3.4. Exprimer l'impédance du filtre sous la forme $Z = a + jb$



DOSSIER RESSOURCES

SOMMAIRE



<u>Document 1</u> : Aide à la détermination des courants de courts-circuits	Page 3
<u>Document 2</u> : Caractéristiques du disjoncteur NS400	Page 5
<u>Document 3</u> : Chutes de tension admissibles	Page 7
<u>Document 4</u> : Aide à la réalisation d'une étude aéraulique	Page 8
<u>Document 5</u> : Etude d'un moteur asynchrone	Page 11
<u>Document 6</u> : Méthode simplifié de détermination des paramètres d'un régulateur PID	Page 12
<u>Document 7</u> : Etude harmonique	Page 13

A48 Protection des circuits

Détermination des courants de court-circuits (Icc)

Déterminer résistances et réactances de chaque partie de l'installation

partie de l'installation	valeurs à considérer résistances (mΩ)	réactances (mΩ)
réseau amont (1)	$R1 = 0,1 \times Z_0$	$X1 = 0,995 Z_0$ $Z_0 = \frac{(m U_n)^2}{S_{K0}}$
transformateur	$R2 = \frac{Wc \times U^2}{S^2} \times 10^{-3}$ Wc = pertes cuivre (W) S = puissance apparente du transformateur (kVA)	$X2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2}$ $Z = \frac{U_{cc} \times U^2}{100 \times S}$ U _{cc} = tension de court-circuit du transfo (en %)
liaison en câbles (3)	$R3 = \rho \frac{L}{S} (3)$ ρ = 18,51 (Cu) ou 29,41 (Al) L en m, S en mm ²	$X3 = 0,09L$ (câbles uni jointifs) $X3 = 0,13L$ (2) (câbles uni espacés) L en m
en barres	$R3 = \rho \frac{L}{S} (3)$ ρ = 18,51 (Cu) ou 29,41 (Al) L en m, S en mm ²	$X3 = 0,15L$ (4) L en m
disjoncteur rapide sélectif	R4 négligeable	X4 négligeable

- (1) S_{K0} : puissance de court-circuit du réseau à haute tension en kVA.
 (2) Réactance linéique des conducteurs en fonction de la disposition des câbles et des types.
 (3) S'il y a plusieurs conducteurs en parallèle par phase diviser la résistance et la réactance d'un conducteur par le nombre de conducteurs.
 R est négligeable pour les sections supérieures à 240 mm².
 (4) Réactance linéique des jeux de barres (Cu ou Al) en valeurs moyennes.

Icc en un point quelconque de l'installation

Valeur de l'icc en un point de l'installation par la méthode suivante : (méthode utilisée par le logiciel Ecodial 3 en conformité avec la norme NF C 15-500).

- 1. calculer :**
 la somme Rt des résistances situées en amont de ce point :
 $Rt = R1 + R2 + R3 + \dots$ et la somme Xt des réactances situées en amont de ce point :
 $Xt = X1 + X2 + X3 + \dots$

- 2. calculer :**
 $I_{cc \text{ max}} = \frac{m \times c \times U_n}{\sqrt{3 \times \sqrt{Rt^2 + Xt^2}}}$ kA.
 Rt et Xt exprimées en mΩ

Important :

- U_n = tension nominale entre phases du transformateur (400 V)
- m = facteur de charge à vide = 1,05
- c = facteur de tension = 1,05.

Exemple

schéma	partie de l'installation	résistances (mΩ)	réactances (mΩ)
	réseau amont S _{K0} = 500000 kVA	$R1 = \frac{(1,05 \times 400)^2}{500000} \times 0,1$ R1 = 0,035	$R1 = \frac{(1,05 \times 400)^2}{500000} \times 0,995$ X1 = 0,351
	transformateur S _{tr} = 630 kVA U _{cc} = 4 % U = 420 V P _{cu} = 6300 W	$R2 = \frac{7800 \times 420^2 \times 10^{-3}}{630^2}$ R2 = 3,5	$X2 = \sqrt{\left(\frac{4}{100 \times 630} \times 420\right)^2 - (3,5)^2}$ X2 = 10,6
	liaison (câbles) transformateur disjoncteur 3x(1x150 mm ²) Cu par phase L = 5 m	$R3 = \frac{18,51 \times 5}{150 \times 3}$ R3 = 0,20	$X3 = 0,09 \times \frac{5}{3}$ X3 = 0,15
	disjoncteur rapide	R4 = 0	X4 = 0
	liaison disjoncteur départ 2 barres (Cu) 1 x 80 x 5 mm ² par phase L = 2 m.	$R5 = \frac{18,51 \times 2}{400}$ R5 = 0,09	$X5 = 0,15 \times 2$ X5 = 0,30
	disjoncteur rapide	R6 = 0	X6 = 0
	liaison (câbles) tableau général BT tableau secondaire 1 x (1 x 185 mm ²) Cu par phase L = 70 m	$R7 = 18,51 \times \frac{70}{185}$ R7 = 7	$X7 = 0,13 \times 70$ X7 = 9,1

Calcul des intensités de court-circuit (kA)

	résistances (mΩ)	réactances (mΩ)	Icc (kA)
en	Rt1 = R1 + R2 + R3	Xt1 = X1 + X2 + X3	$\frac{1,05 \times 1,05 \times 400}{\sqrt{3} \times \sqrt{(3,73)^2 + (11,1)^2}} = 21,7$ kA
M1	Rt1 = 3,73	Xt1 = 11,10	
en	Rt2 = Rt1 + R4 + R5	Xt2 = Xt1 + X4 + X5	$\frac{1,05 \times 1,05 \times 400}{\sqrt{3} \times \sqrt{(3,82)^2 + (11,40)^2}} = 21,2$ kA
M2	Rt2 = 3,82	Xt2 = 11,40	
en	Rt3 = Rt2 + R6 + R7	Xt3 = Xt2 + X6 + X7	$\frac{1,05 \times 1,05 \times 400}{\sqrt{3} \times \sqrt{(10,82)^2 + (20,50)^2}} = 11,0$ kA
M3	Rt3 = 10,82	Xt3 = 20,50	

Transformateurs HTA/BT

Huile minérale Minera

50 à 2500 kVA jusqu'à 20 kV/410 V

Norme NF EN 50464-1

Normes

Transformateurs conformes aux normes :

- NF EN 50464-1
- NF EN 60076-1 à 10

Produits constitués de composants neufs garantis exempts de PCB

Description

Transformateurs de distribution triphasés, 50 Hz, immergés dans de l'huile minérale, présentant les caractéristiques suivantes :

- étanche à remplissage total (ERT)
- couvercle boulonné sur cuve
- refroidissement naturel type ONAN
- type intérieur ou extérieur (à préciser à la commande)
- traitement de surface anticorrosion : classe C3(M) selon ISO 12944-2
- teinte finale RAL 7033
- indice de protection IP 00 (version sans capot)

Diélectrique liquide

- huile minérale isolante neuve
- testé selon CEI 60296
- compatible avec tous les composants du transformateur

Equipements de base

- 1 commutateur de réglage sur couvercle à 3 ou 5 positions, manœuvrable hors tension et cadenassable
- 3 traversées embrochables HTA 250 A / 24 kV sur couvercle
- 4 traversées passe-barres BT (à partir de 250 kVA)
- 4 traversées porcelaine BT (de 50 à 160 kVA)
- 4 galets de roulement plats et orientables
- 2 anneaux de levage et de décuivage
- 2 œilletons de tirage sur châssis
- 2 bornes de terre sur couvercle (goujon-M12)
- 1 orifice de remplissage
- 1 dispositif de vidange (type A22 jusqu'à 1000 kVA, type A31 au-delà de 1000 kVA)
- 1 plaque signalétique en aluminium

**Options**

- relais de protection (DMCR ou DGPT2) sur orifice de remplissage
- 1 doigt de gant libre
- dispositif de contrôle dans doigt de gant (thermomètre 0 ou 2 contacts à aiguille à maxi., thermostat 2 contacts, etc...)
- 3 traversées porcelaine HTA 250 A
- 4 traversées porcelaine BT (à partir de 250 kVA)
- capot BT plombable type IP 21 ou IP 54 (uniquement avec traversées embrochables côté HTA)
- système de verrouillage des traversées embrochables (avec ou sans serrure)
- 3 connecteurs séparables pour traversées embrochables - droites ou en équerre (caractéristiques du câble à préciser)
- bac de rétention

Note : pour toute autre performance : pertes, encombrements, bruits réduits, tension primaire HT < 15 kV ou > 24 kV, protection anticorrosion renforcée, etc ..., nous consulter.

Caractéristiques électriques

puissance assignée (kVA)		50	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
tension assignée	primaire	15 ou 20 kV													
	secondaire à vide	410 V entre phases, 237 entre phases et neutre													
niveau d'isolement assigné (1)	primaire	17,5 kV pour 15 kV 24 kV pour 20 kV													
	réglage (hors tension)	± 2,5 % et/ou ± 5 %													
couplage		Yzn 11 (version 50 kVA uniquement) Dyn 11													
pertes (W)	à vide	125	210	375	650	770	930	1100	1300	1150	1400	1750	2200	2700	3200
	dûes à la charge à 75 °C	1350	2150	3100	3250	3900	4600	5500	6500	10500	13000	16000	20000	26000	32000
	combinaison de pertes selon NF EN 50464	C ₀ D _k	C ₀ D _k	D ₀ D _k	E ₀ C _k	D ₀ D _k									
tension de court-circuit (%)		4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
courant à vide (%)		1	1	1,5	2,6	2,5	2,3	2,2	2,0	1,6	1,5	1,3	1,1	1,1	1,0
courant d'enclenchement	I _e /I _n valeur crête	14	14	12	12	12	12	11	11	10	9	8	9	9	8
	constante de temps	0,13	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,35	0,4	0,5	0,4	0,45	0,5
chute de tension à pleine charge (%)	cos φ = 1	2,74	2,21	2,00	1,37	1,31	1,22	1,17	1,11	1,48	1,47	1,45	1,42	1,47	1,45
	cos φ = 0,8	3,93	3,75	3,86	3,33	3,30	3,25	3,22	3,17	4,64	4,63	4,62	4,60	4,63	4,62
rendement	charge cos φ = 1	97,13	97,69	97,87	98,46	98,54	98,64	98,70	98,78	98,56	98,58	98,60	98,63	98,59	98,61
		100%	96,44	97,13	97,36	98,09	98,18	98,30	98,38	98,48	98,21	98,23	98,26	98,30	98,24
	charge cos φ = 0,8	97,70	98,14	98,27	98,70	98,76	98,84	98,89	98,96	98,84	98,85	98,87	98,89	98,86	98,88
		75 %	97,14	97,69	97,84	98,37	98,46	98,56	98,62	98,71	98,55	98,57	98,59	98,62	98,58
bruit dB (A) (2)	puissance acoust. L _{WA}	47	49	57	65	67	68	69	70	66	68	69	71	73	76
	pression acoust. L _{PA} à 1 m	44	42	50	57	59	59	60	60	56	58	58	60	61	64

(1) rappel sur les niveaux d'isolement :

niveau d'isolement assigné (kV)	7,2	12	17,5	24
---------------------------------	-----	----	------	----

Appareillage basse tension Low voltage switchgear

Compact NS NS400, NS630

La gamme Compact NS concrétise un palier technique dans l'évolution du disjoncteur boîtier-moulé. Ces disjoncteurs apportent aux utilisateurs une sécurité durable, les meilleures garanties de disponibilité de l'énergie et de confort d'exploitation :

- Conformité à l'ensemble des normes internationales et agréments.
- Pouvoir de coupure de service
Ics = 100 % Icu selon IEC 60947-2.
- Sélectivité naturelle des protections.
- Aptitude au sectionnement avec coupure pleinement apparente.
- De nombreuses fonctions optionnelles de signalisation, mesure et commande.

The Compact NS range has revolutionised the world of moulded-case circuit breakers. It offers end-users lasting safety together with unsurpassed energy availability and convenient operational features.

- Compliance with most standards and certifications worldwide.
- Service breaking capacity Ics = 100 % Icu (according to IEC 60947-2).
- Inherent discrimination of protection devices.
- Suitability for isolation with positive break indication.
- On request, numerous functions for indication, measurement and control.

Conformité aux normes

International	IEC 60947-1 à 5
Europe	EN 60947
Allemagne	VDE 0660
France	NF EN 60947
Grande-Bretagne	BS EN 60947
Italie	CEI EN 60947

Compliance with standards

International	IEC 60947-1 to 5
Europe	EN 60947
France	NF EN 60947
Germany	VDE 0660
Great Britain	BS EN 60947
Italy	CEI EN 60947



Applications

Grâce aux déclencheurs interchangeables, les disjoncteurs Compact NS s'adaptent à :

- La protection des réseaux de distribution (avec ou sans dispositif différentiel résiduel).
 - La protection des démarreurs de moteur.
 - La protection des réseaux à courant continu.
 - La fonction interrupteur-sectionneur, conforme à la norme IEC 60947-3.
- Le déclenchement peut, au choix de l'utilisateur, être assuré par un dispositif magnéto-thermique ou électronique.
Le montage des Compact NS en inverseurs de source (automatiques ou manuels) est également prévu.

Applications

With a wide range of interchangeable trip units, Compact NS circuit breakers are the perfect solution for:

- Protection of distribution systems (with or without earth-fault protection module).
 - Protection of motor starters.
 - Protection of DC systems.
 - Switch-disconnector function, as per IEC standard 60947-3.
- Electronic or thermal-magnetic trip units are available to meet all user preferences.
Compact NS circuit breakers are also designed for use in manual or automatic source-changeover systems.

Aptitude au sectionnement et sécurité d'intervention

Tous les disjoncteurs Compact sont aptes au sectionnement selon la norme internationale IEC 60947-2. La poignée ne peut indiquer la position O que si les contacts sont effectivement séparés. L'adaptation d'une télécommande ou d'une commande rotative conserve l'aptitude au sectionnement.
Pour la protection contre les contacts directs, les disjoncteurs Compact s'installent à travers la face avant des tableaux de classe II (norme IEC 60664).

Suitability for isolation and safety of personnel

All Compact circuit breakers are suitable for isolation as defined in IEC standard 60947-2. The operating handle cannot indicate the "off" position unless the contacts are actually open. Fitting a rotary handle or a motor mechanism does not alter the reliability of the position indication system.
For protection against direct contact with live parts, Compact circuit breakers may be installed through the front panel of Class II switchboards (as per IEC 60664).



Merlin Gerin

Caractéristiques électriques / Electrical characteristics

Selon IEC 60947-2 et EN 60947-2 / According to IEC 60947-2 and EN 60947-2		NS400			NS630					
Nombre de pôles / Number of poles		3, 4			3, 4					
Courant assigné / Rated current (A)		In	40°C	50°C	65°C					
			150	250	400	630				
			150	250	400	600				
			150	250	320	500				
Tension assignée d'isolement / Rated insulation voltage (V)		Ui	750			750				
Tension de tenue aux chocs / Rated impulse withstand voltage (kV)		Uimp	8			8				
Tension assignée d'emploi / Rated operational voltage (V)		Ue	CA / AC	50/60 Hz		690 (500 CC / DC)				
Type de disjoncteur / Type of circuit breaker			N	H	L	N	H	L		
Pouvoir de coupure ultime (kA eff)		Icu	CA / AC	220/240 V	85	100	150	85	100	150
Ultimate breaking capacity (kA rms)			50/60 Hz	380/415 V	50	70	150	50	70	150
				440 V	42	65	130	42	65	130
				500 V	30	50	100	30	50	70
				525 V	22	35	100	22	35	50
				660/690 V	10 ⁽¹⁾	20 ⁽¹⁾	75 ⁽¹⁾	10 ⁽¹⁾	20 ⁽¹⁾	35 ⁽¹⁾
			CC / DC	250 V (1 P)	-	85	-	-	85	-
				500 V (2 P serie)	-	85	-	-	85	-
Pouvoir assigné de coupure de service / Service breaking capacity Ics (% Icu)		Ics	(% Icu)		100 %			100 % ⁽²⁾		
Durabilité (cycles F-O) / Durability (C-O cycles)			440 V / In		6000			4000		

(1) Pour les tensions d'emploi supérieures à 525 V, utiliser les déclencheurs STR23SV ou STR53SV, (2) tension d'emploi jusqu'à 500 V, (1) For operational voltage greater than 525 V, use trip units STR23SV or STR53SV, (2) for operational voltage up to 500 V.

Températures ambiantes / Ambient temperatures

Température d'utilisation / Operation temperature	-25 °C à / to +70 °C
Température de mise en service / Commissioning temperature	-35 °C à / to +70 °C
Température de stockage / Storage temperature	-50 °C à / to +85 °C

Déclencheurs / Trip units

Protection des réseaux à courant continu

Les Compact NS400/630 sont équipés d'un déclencheur MP (déclencheur magnétique non interchangeable).

Protection of DC systems

Compact NS400/630 circuit breakers to be used on DC systems are equipped with MP magnetic non-interchangeable trip units.

Protection des départs moteurs

Les disjoncteurs Compact peuvent être équipés :

- de déclencheurs magnétiques, qui réalisent la protection contre les courts-circuits
- de déclencheurs électroniques STR43ME, qui réalisent la protection contre les courts-circuits, les surcharges et le déséquilibre de phase.

Protection of motor starters

Compact circuit breakers to be used for motor starter protection can be equipped with:

- magnetic trip units to provide short-circuit protection
- specially designed STR43ME electronic trip units to provide short-circuit, overload and phase unbalance protection

Protection des réseaux de distribution à courant alternatif

Le choix du déclencheur est fonction du type de réseau protégé et de la tension d'emploi du disjoncteur. 5 références de déclencheur permettent de protéger tous les types de circuits, de 60 à 630 A, quelle que soit la tension d'utilisation du disjoncteur

- U ≤ 525 V : STR23SE ou STR53UE

- U > 525 V : STR23SV ou STR53SV

- protection des réseaux à neutre surchargé (U ≤ 525 V) : STR23SE OSN. Les déclencheurs STR53UE et STR53SV proposent un plus grand nombre de réglages de la protection auquel s'ajoutent, pour le STR53UE, des fonctions optionnelles de protection, mesure et communication.

Les déclencheurs STR se montent indifféremment sur les Compact NS400 et NS630, de type N, H ou L, 3P et 4P.

Les disjoncteurs 4P sont équipés en standard d'un commutateur de protection du neutre à 3 positions (3d, 3d + N/2, 4d) ou (3d, 3d + 0,8 N, 3d + 1,6 N) pour l'OSN.

Protection of AC distribution systems

The choice of a trip unit depends on the type of system to be protected and the rated operational voltage of the circuit breaker. Five trip unit models cover the protection needs of all types of circuits, whatever the operational voltage of the circuit breaker.

- U ≤ 525 V : STR23SE or STR53UE

- U > 525 V : STR23SV or STR53SV

- protection of systems with an overloaded neutral (U ≤ 525 V) : STR23SE OSN. Trip units STR53UE and STR53SV offer additional protection settings plus, for the STR53UE, optional protection, measurement and communication functions.

The STR trip units can be mounted on all 3-pole and 4-pole Compact NS400 and NS630 circuit breakers, types N, H or L.

All 4-pole circuit breakers come with a three-position neutral protection setting (3d for no neutral protection, 3d + N/2 for neutral protection at 0.5 In and 4d for neutral protection at In or 3d, 3d + 0.8 N and 3d + 1.6 N for the OSN).

	STR23SE STR23SV	STR23SE OSN	STR43ME	STR53UE STR53SV
Protection contre les surcharges (long retard) / Overload protection (long time)				
Seuil de déclenchement / Tripping thresholds	I _r Réglable / Adjustable	48 crans / 48 settings	40 crans / 40 settings	48 crans / 48 settings
		0.4...1 x I _n	0.4...0.8 x I _n	0.4...1 x I _n
Temps de déclenchement (s) à / Tripping time at (min/max)	1.5 x I _r / 6 I _r / 7.2 I _r	90/180 / 90/180	Réglable / Adjustable / 144/198 / 270/367 / 433/595	Réglable (5 crans) / Adjustable (5 settings) / 8/15 / 34/50 / 69/100 / 138/200 / 277/400
Signalisation lumineuse de surcharge / Overload indication	seuils / thresholds	2	1	2
	90 %, 105 % x I _r	90 %, 105 % x I _r	105 % x I _r	90 %, 105 % x I _r
Protection contre les courts-circuit (court retard) / Short-circuit protection (short time)				
Seuil de déclenchement / Tripping thresholds	I _{sd} Réglable / Adjustable	8 crans / 8 settings	8 crans / 8 settings	8 crans / 8 settings
		2...10 x I _r	6...13 x I _r	1.5...10 x I _r
Temporisation (ms) / Time delay	Fixe / Fixed	Fixe / Fixed	Fixe / Fixed	Réglable (4 valeurs avec ou sans I ² t constante) / Adjustable (4 settings with or without constant I ² t)
Protection contre les courts-circuit (instantanée) / Short-circuit protection (instantaneous)				
Seuil de déclenchement / Tripping thresholds	I _i	Fixe / Fixed	Fixe / Fixed	Réglable (8 crans) / Adjustable (8 settings)
		11 x I _n	7 x I _n	13 x I _r maxi

A42 Protection des circuits

Détermination des chutes de tension admissibles

L'impédance d'un câble est faible mais non nulle ; lorsqu'il est traversé par le courant de service, il y a chute de tension entre son origine et son extrémité.

Or le bon fonctionnement d'un récepteur (surtout un moteur) est conditionné par la valeur de la tension à ses bornes.

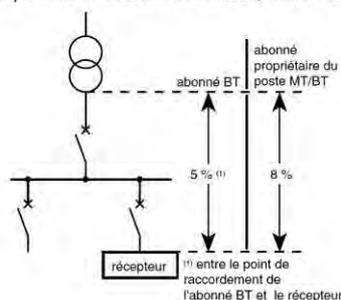
Il est donc nécessaire de limiter les chutes de tension en ligne par un dimensionnement correct des câbles d'alimentation.

Ces pages vous aident à déterminer les chutes de tension en ligne, afin de vérifier :

- la conformité aux normes et règlements en vigueur
- la tension d'alimentation vue par le récepteur
- l'adaptation aux impératifs d'exploitation

Les normes limitent les chutes de tension en ligne

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs du tableau ci-dessous. D'autre part la norme NF C 15-100 § 552-2 limite la puissance totale des moteurs installés chez l'abonné BT tarif bleu. Pour des puissances supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous, l'accord du distributeur d'énergie est nécessaire.



Chute de tension maximale entre l'origine de l'installation BT et l'utilisation

	éclairage	autres usages (force motrice)
abonné alimenté par le réseau BT de distribution publique	3 %	5 %
abonné propriétaire de son poste HT-A/BT	6 %	8 % ⁽¹⁾

(1) Entre le point de raccordement de l'abonné BT et le moteur.

Puissance maxi de moteurs installés chez un abonné BT

(I < 60 A en triphasé ou 45 A en monophasé)

moteurs	triphasés (400 V)		monophasés (230 V)
	à démarrage direct pleine puissance	autres modes de démarrage	
locaux d'habitation	5,5 kW	11 kW	1,4 kW
autres	réseau aérien 11 kW	22 kW	3 kW
locaux	réseau souterrain 22 kW	45 kW	5,5 kW

$$Q = V \times S$$

Q : débit en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

V : vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

S : section de la gaine en m^2

PERTES DE CHARGE DANS LES CONDUITES AÉRAULIQUES

Comme nous l'avons fait pour l'eau, nous examinerons tout d'abord comment déterminer les pertes de charge linéiques puis les pertes de charge singulières.

FORMULES DE CALCUL DES PERTES DE CHARGE LINÉIQUES

On peut calculer, pour chaque mètre de **conduite cylindrique**, les pertes de charge linéiques de l'air avec la formule suivante :

$$r = F_a \cdot \frac{1}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (9)$$

où:

- r = perte de charge linéique unitaire, Pa/m
- F_a = coefficient de frottement sans unité
- ρ = masse volumique de l'air, Kg/m^3
- v = vitesse moyenne de l'air en m/s
- D = diamètre interne de la conduite cylindrique, m

Le coefficient de frottement varie en fonction (1) du régime d'écoulement du fluide et (2) de la rugosité des tubes.

Régime d'écoulement du fluide

On peut appliquer ici les définitions, équations et remarques qui viennent d'être évoquées pour l'eau.

Le tab. 2 (élaboré par analogie avec le tab. 1) montre que, de la même façon, dans les **installations aérauliques, il est surtout intéressant de calculer les pertes de charge linéiques en régime turbulent.**

Tab. 2
vitesse critique de l'air [m/s]
H = 0 m (au niveau de la mer)

t	v	D [mm]	D [mm]	D [mm]
[°C]	[m^2/s]	200	300	400
10°C	$1,38 \cdot 10^{-5}$	0,14	0,09	0,07
30°C	$1,57 \cdot 10^{-5}$	0,16	0,10	0,08
50°C	$1,76 \cdot 10^{-5}$	0,18	0,12	0,09

$$1 \text{ mBar} = 100 \text{ Pa}$$

Rugosité

Pour les conduites aérauliques, on peut distinguer les classes de rugosité suivantes :

Tab. 3
Classes de rugosité
pour conduites aérauliques

Matériaux	Classes de rugosité ϵ [mm]	
Canalisations en PVC	très lisses	0,03
Canalisations en aluminium		
Canalisations en acier zingué	lisses	0,09
Canalisations en acier inox		
Canalisations avec revêtement interne en polyéthylène	rugueux	0,90
Conduites en ciment lisse		
Tubes flexibles métalliques	très rugueux	3,00
Tubes flexibles non métalliques		
Conduites en ciment non lisses		

Dans laquelle $[\epsilon]$ représente la valeur de **rugosité absolue des conduites** : c'est à dire la valeur moyenne de l'irrégularité de leur surface (voir 1^{er} Cahier Caleffi).

Formules de calcul de la masse volumique et de la viscosité cinématique de l'air:

$$\rho = 1,293 \cdot \frac{P_b}{1,013} \cdot \frac{273}{273 + t}$$

$$P_b = -0,1125 \cdot H + 1,011,5$$

$$v = \frac{1,53}{\rho} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{(273 + t)^{1,5}}{413 + t}$$

- ρ = masse volumique de l'air, Kg/m^3
- t = température de l'air, °C
- P_b = pression barométrique, mbar
- H = altitude, m
- v = viscosité cinématique de l'air, m^2/s

Calcul du coefficient de frottement [F_a]

En régime laminaire, on peut calculer [F_a] en utilisant la même formule que pour l'eau.

En régime turbulent, on peut les calculer avec la formule de Colebrook qui impose, comme nous l'avons déjà signalé, des calculs très complexes.

Dans la pratique, on utilise donc des formules plus simples. Nous proposons ci-dessous la formule de Altshul- Tsal :

$$F_a^* = 0,11 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (10)$$

où:

$$\text{si } F_a^* \geq 0,018 \quad F_a = F_a^*$$

$$\text{si } F_a^* < 0,018 \quad F_a = 0,85 \cdot F_a^* + 0,0028$$

F_a = coefficient de frottement, sans unité

Formules de calcul des pertes de charge linéiques

Si on pose dans l'équation (9) les valeurs de [F_a] ci-dessus, on obtient des formules permettant de calculer les pertes de charge linéiques dans les conduites aérauliques cylindriques.

Il convient de simplifier ces formules en exprimant les différents paramètres dans des unités de mesure courantes.

Conduites rectangulaires - Diamètres équivalents

Les formules ci-dessus s'appliquent aux conduites cylindriques. Elles peuvent être étendues aux conduites rectangulaires.

Pour cela, il faut convertir la section rectangulaire de la canalisation en section circulaire équivalente : soit une section qui, avec le même débit, génère les mêmes pertes de charge.

On peut faire cette conversion avec la formule de Huebscher:

$$De = 1,30 \cdot \frac{(a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,250}} \quad (11)$$

où:

De = diamètre d'une canalisation cylindrique équivalente à une canalisation rectangulaire, mm

a, b = côtés de la section rectangulaire, mm

TABLES ET DIAGRAMMES DES PERTES DE CHARGE LINÉIQUES

Nous avons créé les diagrammes et tables suivants, pour permettre le calcul manuel de ces pertes de charge :

Diagrammes des pertes de charge linéiques [r]

Ils sont élaborés à partir d'une échelle logarithmique, avec les débits sur l'axe des abscisses et les pertes de charge sur l'axe des ordonnées. Des faisceaux de droites perpendiculaires les unes aux autres représentent le diamètre des conduites et la vitesse de l'air.

Nous proposons quatre groupes de diagrammes, divisés en fonction des classes de rugosité définies au Tab. 3. Chaque groupe est subdivisé en quatre sous-groupes en fonction des températures et des altitudes par rapport au niveau de la mer ci-dessous :

$t = 20^\circ\text{C}; H = 0 \text{ m}$

le diagramme est valable pour :

- une température entre $+5^\circ\text{C}$ et $+35^\circ\text{C}$;
- une altitude ne dépassant pas 500 m.

$t = 50^\circ\text{C}; H = 0 \text{ m}$

le diagramme est valable pour :

- une température entre $+35^\circ\text{C}$ et $+65^\circ\text{C}$;
- une altitude ne dépassant pas 500 m.

$t = 20^\circ\text{C}; H = 1.000 \text{ m}$

le diagramme est valable pour :

- une température entre $+5^\circ\text{C}$ et $+35^\circ\text{C}$;
- une altitude entre 500 et 1.500 m.

$t = 50^\circ\text{C}; H = 1.000 \text{ m}$

le diagramme est valable pour :

- une température entre $+35^\circ\text{C}$ et $+65^\circ\text{C}$;
- une altitude entre 500 et 1.500 m.

Les cas étudiés permettent de tenir compte du fait que les pertes de charge linéiques varient sensiblement en fonction de la température de l'air et de l'altitude au-dessus du niveau de la mer : paramètres qui influent sur la densité et la viscosité de l'air.

Tables des diamètres équivalents

Ils permettent de calculer les diamètres équivalents des conduites rectangulaires (voir exemple page 16). Ils donnent aussi les facteurs de corrélation entre la vitesse de l'air dans les conduites équivalentes et dans les conduites rectangulaires.

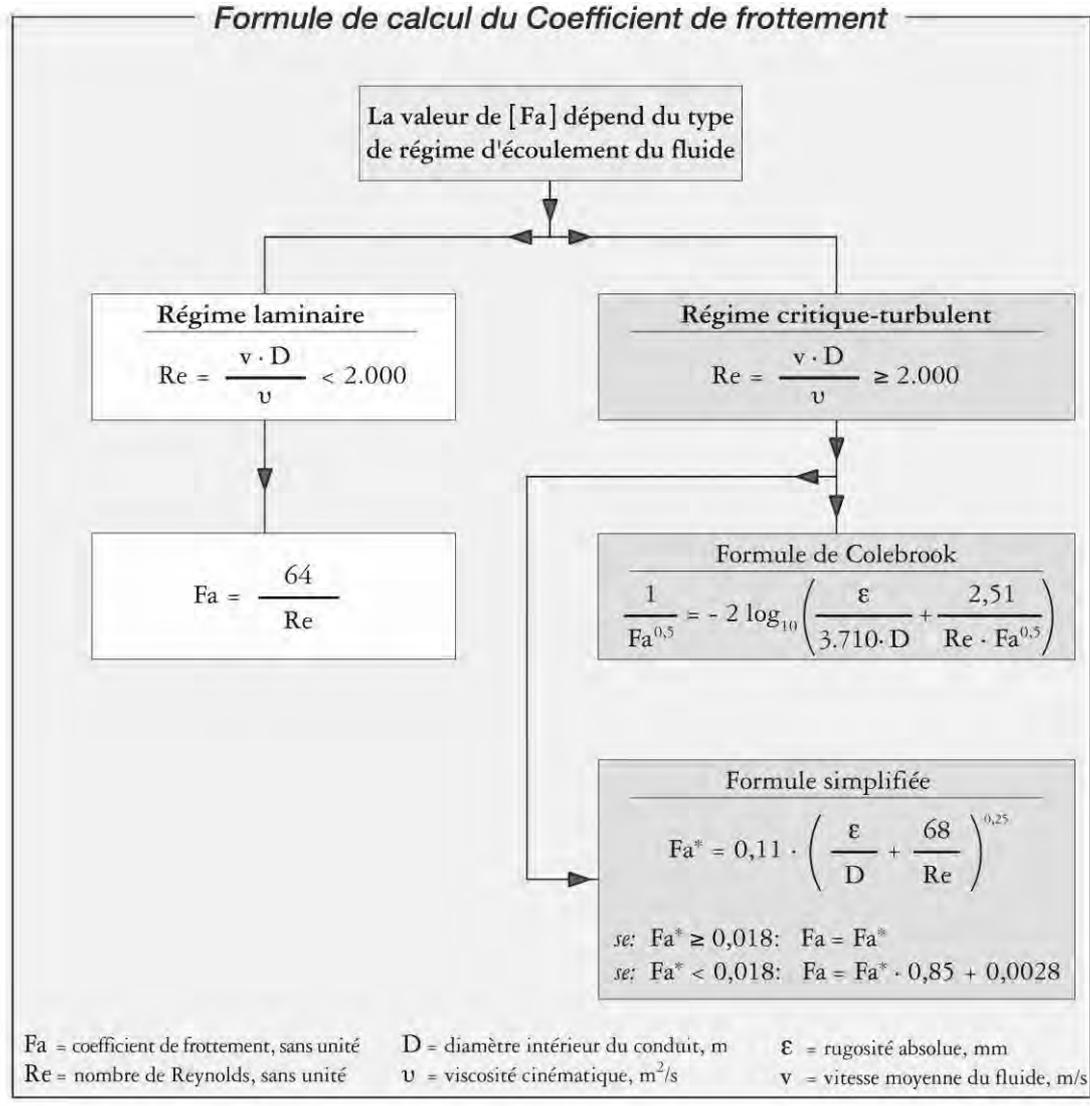
Tableau récapitulatif des Formules de calcul des Pertes de Charges Linéiques pour les canalisations d'air

Formule de calcul des Pertes de Charge Linéiques

$$r = F_a \cdot \frac{1}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

r = perte de charge unitaire, Pa/m D = diamètre intérieur du conduit, m v = vitesse moyenne du fluide, m/s
 F_a = coefficient de frottement, sans unité ρ = masse volumique du fluide, kg/m³

Formule de calcul du Coefficient de frottement



$$P = \Delta p \times Q$$

P : puissance aspiration

Δp : pertes de charge en Pa

Q : débit en m³.s⁻¹

Calcul autour d'un moteur asynchroneEn triangle :

$$R_f = \frac{V}{I_0 \times \cos \varphi_0} = \frac{V^2}{\left(\frac{P_f}{3}\right)}$$

$$X_f = \frac{V}{I_0 \times \sin \varphi_0} = \frac{V^2}{\left(\frac{Q_0}{3}\right)}$$

$$P_{jr} = R_2 \times I_2^2$$

$$\underline{I_1} = I_1 a - j I_1 r = (I_n \cos \varphi) - j (I_n \sin \varphi)$$

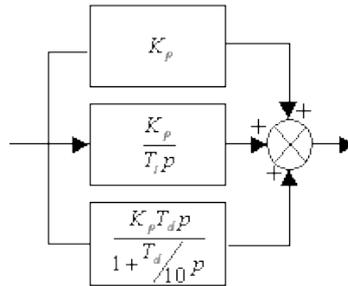
$$\underline{I_2} = \underline{I_1} - \underline{I_0}$$

$$\underline{I_0} = I_0 a - j I_0 r$$

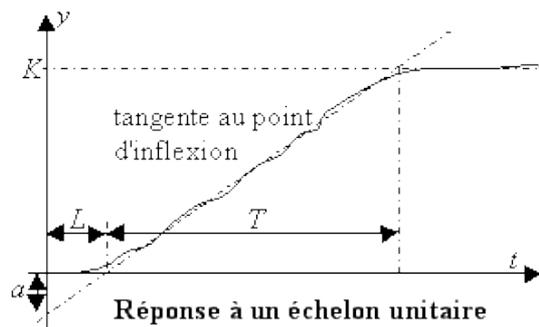
I_1 se calcule sur la base d'un facteur de puissance nominal.

Méthode pour retrouver les paramètres d'un régulateur PID variante de la méthode Ziegler et Nichols

Ces méthodes fournissent des réglages pour des correcteurs de type PID (pouvant ne comporter qu'une action Proportionnelle, une action Proportionnelle et une action Intégrale ou les 3 actions simultanément), dont la structure est la suivante :



Elle est adaptée aux systèmes stables en boucle ouverte, qui ont une réponse apériodique. La réponse à un échelon unitaire du système physique doit être enregistrée. Différentes caractéristiques de la réponse obtenue sont mesurées :



Le modèle approché utilisée par Ziegler Nichols comporte une constante de temps et un retard pur ou bien un retard pur et un intégrateur :

$$H(p) = \frac{K \cdot e^{-L \cdot p}}{1 + T \cdot p} \text{ ou } H(p) = \frac{a \cdot e^{-L \cdot p}}{L}$$

Si le système physique comporte un intégrateur, les mesures de a et de L demeurent disponibles sur le début de la réponse.

Les réglages suggérés par la méthode temporelle de Ziegler Nichols sont récapitulés dans le tableau suivant :

	K_p	T_i	T_d
correcteur P	$1/a$	-	-
correcteur PI	$0,9/a$	$3L$	-
correcteur PID	$1,2/a$	$2L$	$L/2$

Etude harmonique

$$V_{max} = \frac{3 \times \hat{U}}{\pi}$$

Vmax : tension maximale en sortie d'un pont redresseur PD3.

$$\text{Taux distorsion harmonique : } tdi = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1}$$

Extrait de la norme NF-C-15-100 au sujet de la pollution harmonique.

Taux d'harmoniques	Effets prévisibles
THDu < 5 % et THDi < 10 %	Néant
5 % < THDu < 8 % ou 10 % < THDi < 50 %	Pollution significative, effets nuisibles possibles
THDu > 8 % ou THDi > 50 %	Pollution forte, dysfonctionnements probables
Taux d'harmonique 3 en courant > 15 %	Courant non négligeable dans le conducteur neutre

Figure 10. Echelle des perturbations.