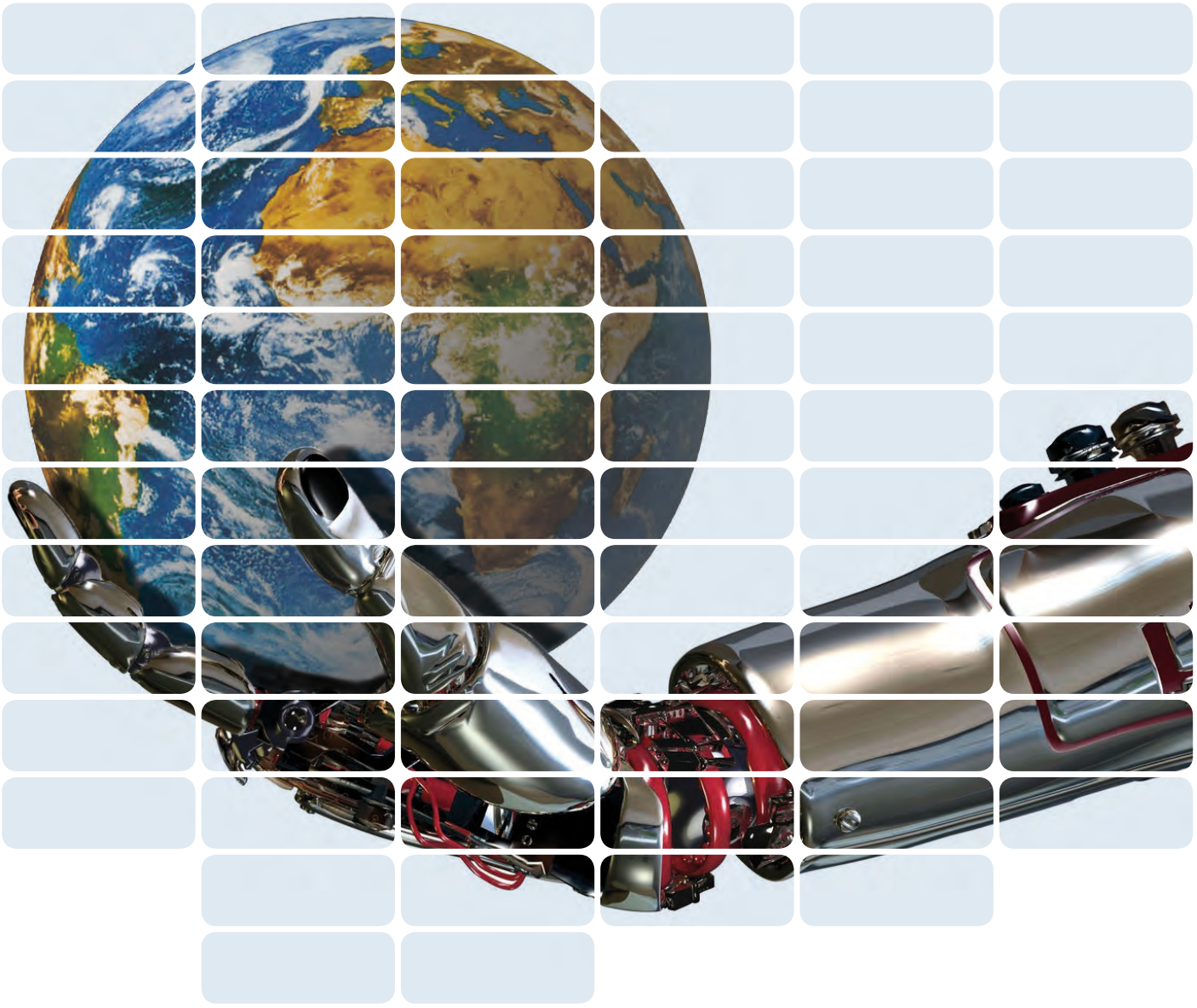
MachineWorld

Introduction à la technique des machines
Edition avec les solutions



Edition Swissmem

SWISSMEM
Formation professionnelle

1. Classification

1.1 Systèmes industriels 6

2. Assemblages amovibles

2.1 Filetages 10
2.2 Assemblages à vis 21
2.3 Goupilles et axes 33
2.4 Liaisons arbre-moyeu 43
2.5 Cônes 53

3. Assemblages non amovibles

3.1 Assemblages par rivets 60
3.2 Assemblages par emmanchement 67
3.3 Assemblages par collage 75
3.4 Assemblages par brasage 83
3.5 Assemblages par soudage 91

4. Eléments de transmission

4.1 Arbres et axes 108
4.2 Paliers et guidages 115
4.3 Courroies 133
4.4 Chaînes 139
4.5 Engrenages 143
4.6 Transmissions 153
4.7 Accouplements 165
4.8 Ressorts 175
4.9 Eléments amortisseurs 183
4.10 Joints d'étanchéité 191

5. Projet «Modèle réduit hélicoptère»

5.1 Travaux à réaliser 201

6. Machines motrices et de travail

6.1 Classification 212
6.2 Pompes 219
6.3 Compresseurs 239
6.4 Moteurs à combustion interne 253

7. Energies renouvelables

7.1 Classification 276
7.2 Energie solaire 277
7.3 Centrales hydroélectriques 287
7.4 Centrales éoliennes 297
7.5 Pompes à chaleur 303

8. Enseignement individuel «Technique des machines»

8.1 Moteurs à réaction 310
8.2 Turbines à gaz et à vapeur 323
8.3 Machines frigorifiques 331

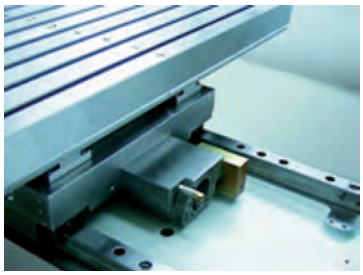
9. Projet «Télésiège»

9.1 Travaux à réaliser 336

1.1 Systèmes industriels

Pour l'assemblage ou la maintenance des machines, il est important de connaître la conception (fonction et structure) de leurs systèmes, p. ex. d'une machine-outil. Il faut p.ex. être capable de déceler des composants défectueux et les remplacer. Les machines sont souvent constituées d'éléments et de groupes similaires. On peut y trouver des transmissions, moteurs, arbres, vis, ressorts...

Guidage à rouleaux



Montant de machine



Table circulaire pivotante



Machine-outil



Niveau d'observation

Elément
Les éléments sont des pièces ou des groupes qui ne peuvent plus être démontés

Groupes
ou sous-ensembles sont des parties constitutives du système

Equipements
sont des éléments additionnels, constitutifs d'un système

Système
Machine fonctionnelle autonome

Montage, usinage

Démontage, réparation

2.2.4. Classes de qualité

Pour permettre un dimensionnement correct des assemblages à vis, des classes de résistance ont été définies. Elles sont indiquées sur la tête de vis ou l'écrou par deux nombres.

Vis





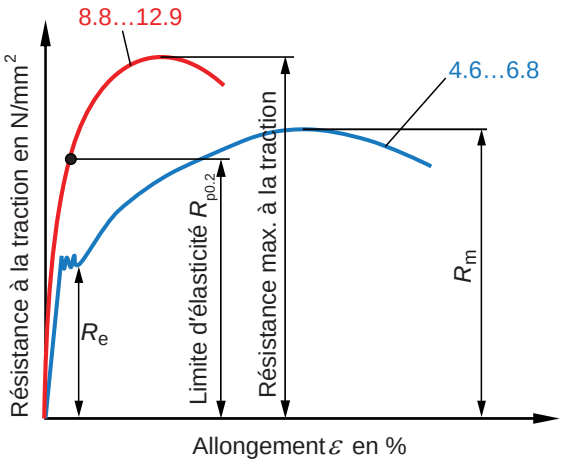


XX = Herstellerzeichen

6.8

Le premier nombre (**6**) correspond à $^{1}/_{100}$ de la résistance à la traction minimale, exprimée en N/mm².
$R_m = 6 \times 100$ N/mm² = 600 N/mm²

Le second multiplié par le premier (**6** fois **8**) puis multiplié par 10 représente la limite d'élasticité minimale en N/mm².
$R_e = 6 \times 8 \times 10$ N/mm² = 480 N/mm²



La résistance minimale à la traction R_m d'une vis est définie par la contrainte de traction à partir de laquelle une rupture peut se produire dans la tige ou dans le filetage (mais pas au niveau de la transition tête/tige).

La limite apparente d'élasticité R_e est la contrainte de traction à partir de laquelle l'allongement n'est plus proportionnel. Dès lors un allongement plastique subsiste après décharge.

$R_{p0.2}$: limite d'élasticité conventionnelle, désignation utilisée pour les vis pour lesquelles il n'est pas possible de déterminer la limite apparente d'élasticité.

Ecrous



La classe de qualité des écrous est indiquée par un nombre. Pour les assemblages écrou-vis, les deux éléments doivent présenter la même classe de qualité.

Veridentique

Vis				Ecrou	Raccord	
Classe de qualité	Résistance à la traction R_m en N/mm²	Limite d'élasticité R_e resp. limite d'élasticité conv. $R_{p0.2}$ en N/mm²		Classe de qualité	Sollicitation de la liaison	Matériau des pièces assemblées
		R_e	$R_{p0.2}$			
6.8	600	480		6	faible	Tous aciers de construction
8.8	800		640	8	moyenne	
10.9	1000		900	10	haute	Acier de construction à partir de S355
12.9	1200		1080	12	très élevée	Aciers améliorés

Les différentes Formees

Classification

Goupille cylindrique



Goupille conique



Goupille cannelée



Goupille élastique



Axe d'articulation

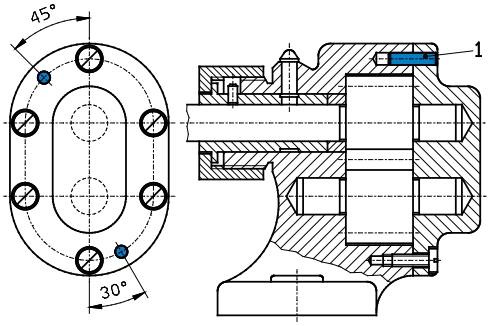


Utilisation

Elément d'assemblage

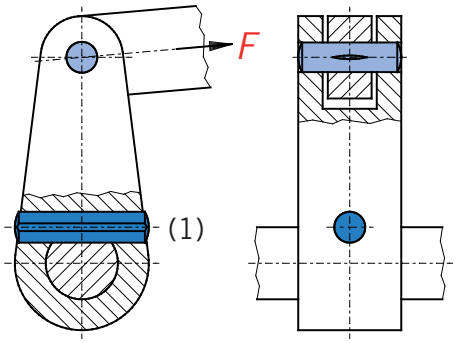
Goupilles d'ajustage

Les goupilles d'ajustage (1) assurent un positionnement précis d'une pièce par rapport à une autre. L'implantation asymétrique des goupilles garantit une position de montage correcte.



Goupilles de fixation

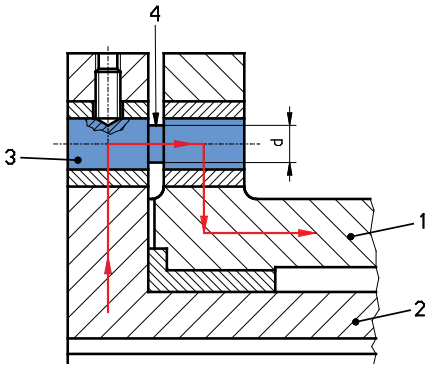
Les goupilles de fixation immobilisent une pièce par rapport à une autre. Le perçage des trous se fait généralement après le montage des pièces à assembler (1).



Elément de sécurite

Goupilles de cisaillement

Elles protègent les parties de machines d'une surcharge et de la destruction.
Les moyeux à flasque (1) et (2) sont assemblés au moyen de plusieurs goupilles cannelées avec gorge (3). Ces goupilles utilisées pour la transmission du couple de rotation sont cisaillées à un point de rupture défini (4) aussitôt que le couple de rotation limite est dépassé. L'effort transmis est interrompu.



Composant

Une goupille peut également être utilisée comme moyen d'encrage (support de ressort).



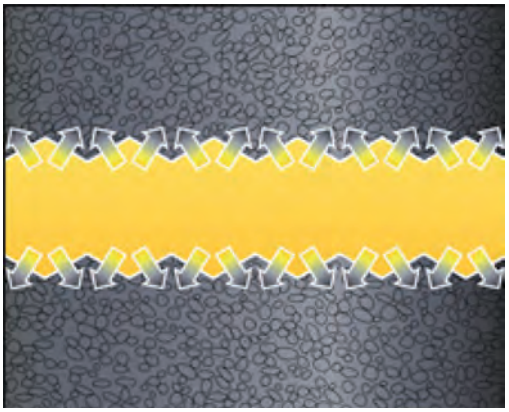
Béquille de moto

Notions fondamentales du collage

La résistance mécanique et thermique des adhésifs est souvent inférieure à celle des matériaux à assembler. Ces inconvénients doivent être pris en compte lors du choix de l'adhésif et de la conception du joint.

0306

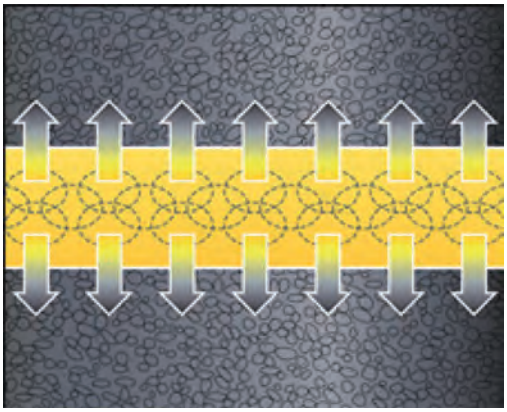
Adhésion
Force avec laquelle l'adhésif adhère à la pièce



Une bonne préparation des surfaces à coller augmente les forces d'adhérence.

- Eliminer les agents contaminants
- Rendre les surfaces à coller rugueuses
- Dégraisser et sécher

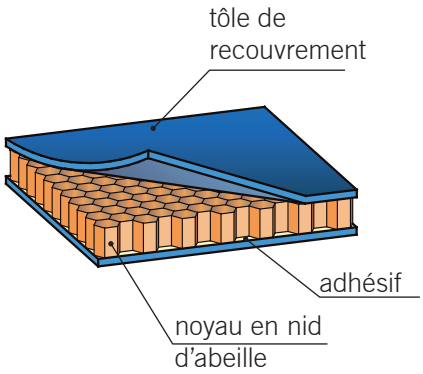
Cohésion
Force avec laquelle les molécules adhésives adhèrent entre elles



Plus la couche de colle est mince, plus les forces de cohésion sont importantes.

Applications

Assemblage de pièces
A titre d'exemple, les fuselages d'avion sont collés tout comme les panneaux sandwich destinés à l'industrie aéronautique et aérospatiale. Sur la Re 460 (locomotive 2000), le poste de pilotage en matière plastique est collé à la caisse en métal de la locomotive.



Assurage des vis contre le desserrage.

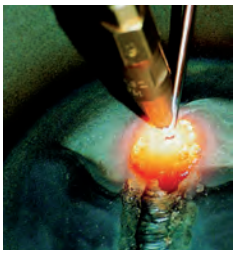
Etanchéité de plans de joints
L'utilisation d'adhésifs est souvent plus économique que la fabrication et le montage de joints plats de forme complexe.

REMARQUE IMPORTANTE

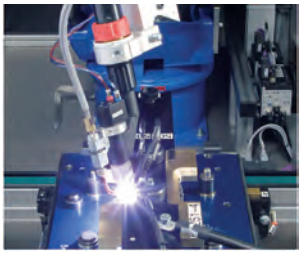
Pour obtenir un résultat parfait lors du collage, il faut non seulement tenir compte de la géométrie des pièces et des matériaux à assembler, mais également de la notice d'utilisation du fabricant ainsi que de la date de péremption de l'adhésif.

3.5.2. Soudage par fusion

Soudage au gaz



Soudage à l'arc
- Soudage électrique à l'arc
- Soudage à l'arc sous flux en poudre
- Soudage à l'arc sous protection gazeuse

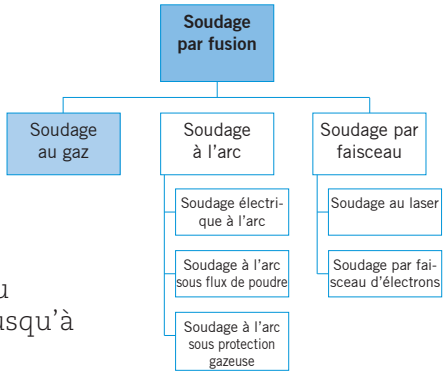


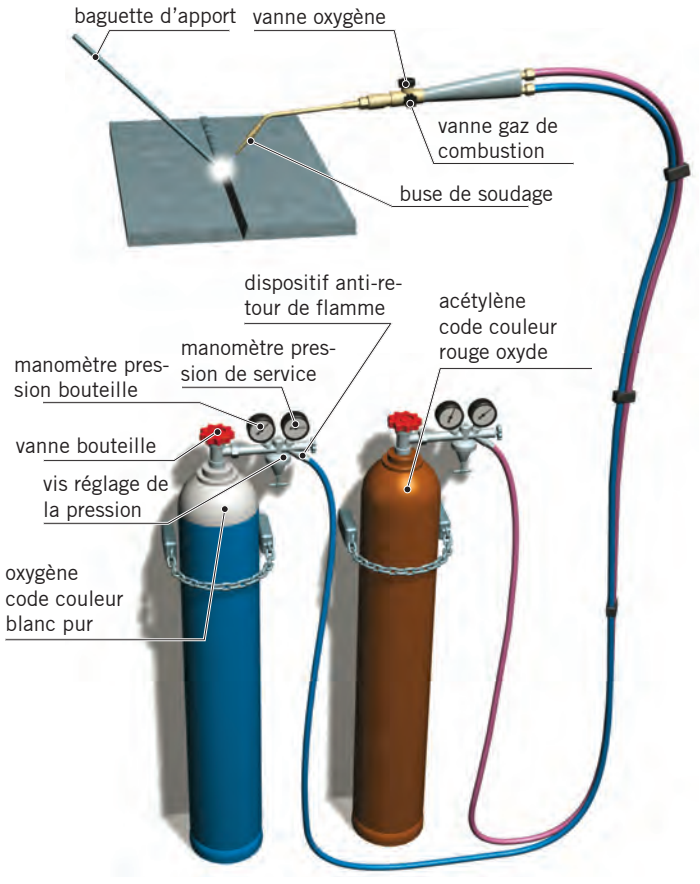
Soudage par faisceau
- Soudage au laser
- Soudage par faisceau d'électrons



Soudage manuel au gaz

Le soudage au gaz (soudage autogène) est exécuté par fusion des bords à réunir à partir de la chaleur née de la combustion d'un gaz combustible avec un gaz comburant.

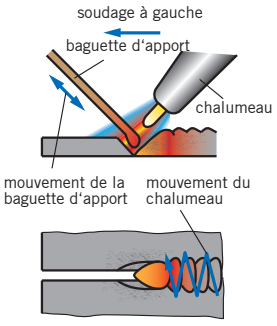




Poste de soudage oxyacétylénique

Matériaux
Aciers non alliés ou faiblement alliés jusqu'à 3 mm d'épaisseur.

Méthode de soudage
Le métal d'apport est amené à la main.



Source d'énergie
Flamme constituée d'oxygène et d'un gaz combustible. On utilise de l'acétylène comme gaz combustible en raison de sa température de travail élevée (est également utilisé pour le brasage).

Métaux d'apport
Baguettes d'apport nues nues de même nature que les métaux soudés.

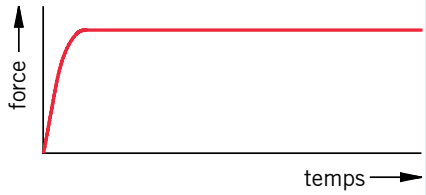
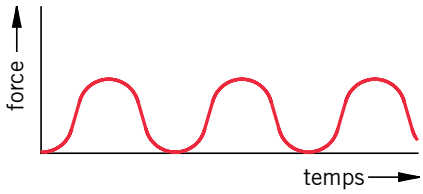
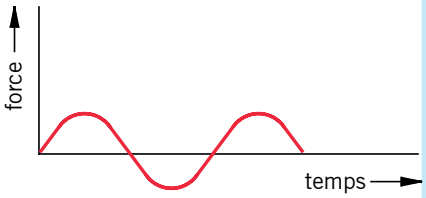
Application
Procédé de soudage manuel: souvent utilisé pour le soudage des raccords de tubes acier.

Sécurité
- Porter des lunettes de protection avec des verres foncés.
- En soudant dans un local exigu, veiller à un apport suffisant en air frais.
- Assurer les bouteilles de gaz contre la chute et les protéger des chocs, de la chaleur et du gel.

Genres de sollicitation

Exercice 4.1.1: Dessinez dans les diagrammes les courbes de sollicitation.

En fonction de l'évolution dans le temps des forces, on fait la distinction entre:

Sollicitation I	Sollicitation II	Sollicitation III
Sollicitation statique	**Sollicitation dynamique pulsatoire**	**Sollicitation dynamique alternée**
		
La force reste constante. Exemple: une colonne est sollicitée à la pression.	La force oscille entre zéro et la valeur maximale. Exemple: axe fixe (axe de fixation d'un piston)	La force alterne entre une valeur maximale positive et négative. Exemple: axe, arbre en rotation (essieu d'un wagon)

0401

Effet d'entaille

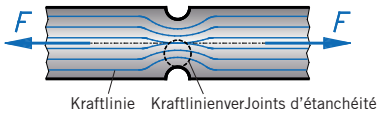
La concentration des contraintes à l'intérieur d'un axe ou d'un arbre dépend, entre autres, des changements de section (raccords, entailles, perçages, rainures, etc.) et de la qualité de la surface. L'effet d'entaille sur les arbres et les axes s'accentue aux endroits marqués par un changement de diamètre.

0402

Sur un axe ou un arbre lisse, les lignes de force ne rencontrent aucun obstacle.



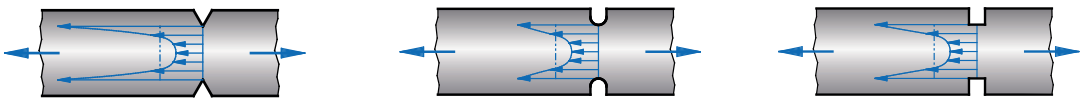
Lorsque des entailles perturbent une forme homogène, les lignes de force se rapprochent produisant une augmentation des contraintes dans la zone des entailles.



Les contraintes produites par l'entaille dépendent fortement de sa forme et de sa taille.

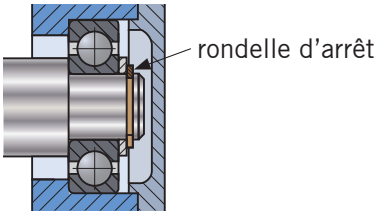
Exercice 4.1.2: Parmi les dessins représentés ci-après, lequel représente le cas le plus défavorable?

□ □ □



REMARQUE IMPORTANTE

Les rondelles et disques d'arrêt nécessitent des rainures étroites et des arêtes vives dans l'arbre, ce qui est uniquement autorisé dans la partie non sollicitée de l'arbre (extrémité de l'arbre).



Classification

Chaînes articulées
- chaînes à rouleaux



- chaînes à axes



Chaînes à maillons
- chaînes de levage et de transport





Transmission par chaîne

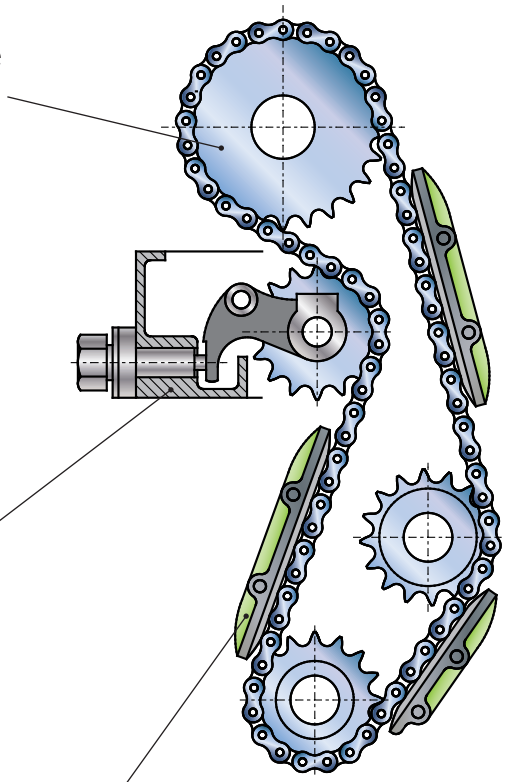
Les pièces constitutives de la transmission par chaîne et leur disposition influencent directement la fonction et la durée de vie.

Pignons

La plupart des transmissions par chaîne possède un nombre impaire de maillons. L'utilisation d'un pignon moteur avec également un nombre impair de dents contribue à une usure plus régulière.







0412

Tendeur de chaîne

La chaîne doit toujours être légèrement tendue, car une chaîne non tendue a du jeu ce qui entraînerait une usure excessive de la chaîne et des pignons. De plus, elle ferait du bruit (cliquetis).



Guide-chaînes

Pour atténuer les vibrations dans le brin de retour de la chaîne, on utilise des guide-chaînes et des galets tendeurs.



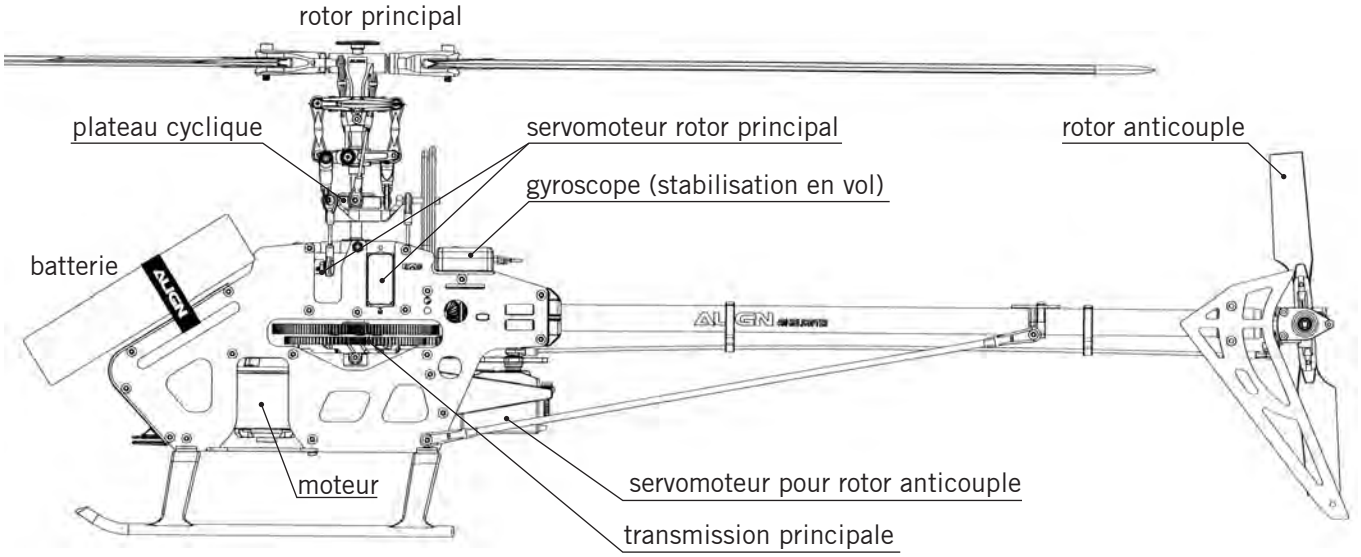
Hélicoptère radiocommandé

L'hélicoptère à entraînement électrique est équipé d'une commande de pas collectif qui a pour effet de modifier l'angle d'incidence de toutes les pales en même temps. Le moteur sans balais est alimenté en électricité par une batterie lithium polymère. L'hélicoptère se caractérise par un fonctionnement silencieux et une bonne tenue de cap.

Longueur	635 mm
Hauteur	230 mm
Rotor principal	ø710 mm
Rotor anticouple	ø158 mm
Transmission	i = 10,7:1
Rotor anticouple	i = 4,24:1
Moteur	U = 7,4 … 14, P_{max} = 400 W

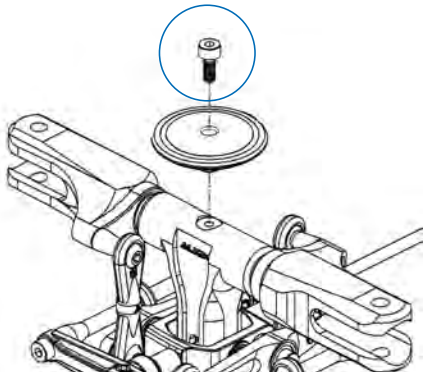


5.1 Vue d'ensemble



5.2 Rotor principal

Exercice 5.1.1:
Le frein de tête de rotor est fixé conformément au dessin à l'aide d'une vis ø2 mm d'une longueur de 5 mm.
Quelle est la désignation normalisée de cette vis?



tête de rotor

Exercice 5.1.2: Comment cette vis est-elle assurée et pourquoi?

Classification

Conceptions

Pompes volumétriques
- Pompe à palettes
- Pompe à engrenages
- Pompe à pistons
- Pompe hélicoïdale (à vis)
- Pompe peristaltique



Turbopompes (non-volumétriques)
- Pompe centrifuge



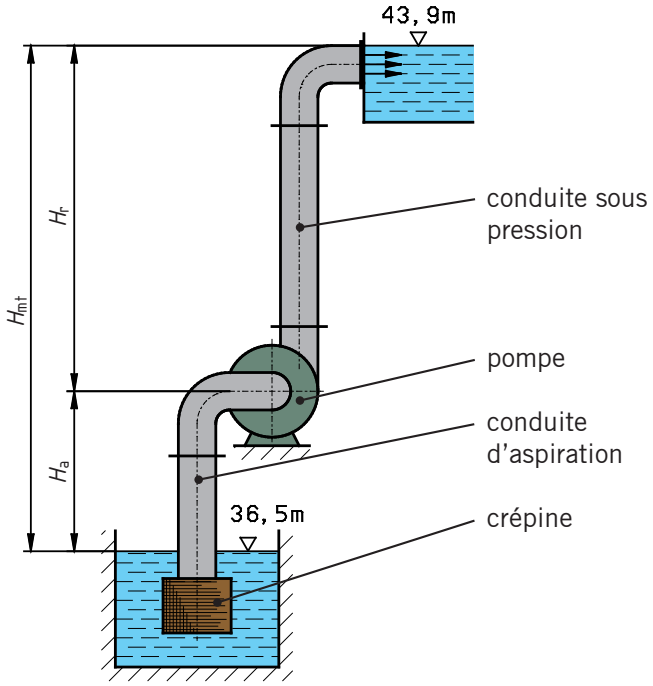
Pompes spéciales
- Pompe à jet
- Venturi



Pression

Basse pression	Pression moyenne	Haute pression	Très haute pression
2 … 170 bars	… 170 bars	200 … 650 bars	plus de 650 bars

Désignations



H_a = hauteur d'aspiration
H_r = hauteur de refoulement
H_{mt} = hauteur manométrique totale

$H_a + H_r = H_{mt}$

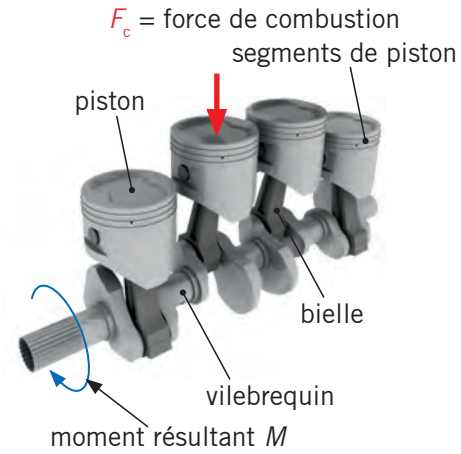
distance verticale
entre les niveaux inférieur et
supérieur de l'eau

Hauteur manométrique totale H_{mt}: également appelée hauteur géodésique totale
Hauteur de refoulement H_r: également appelée hauteur géodésique de refoulement
Hauteur d'aspiration H_a: également appelée hauteur géodésique d'aspiration

Eléments constitutifs

Système bielle-manivelle

Le système bielle-manivelle a les fonctions suivantes:
- Transformer le mouvement alternatif rectiligne des pistons en un mouvement rotatif du vilebrequin.
- Transmettre la force du piston générée par la pression de combustion au vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle. La partie coudée du vilebrequin, le maneton, imprime un mouvement rotatif au vilebrequin.



Le système bielle-manivelle se compose des éléments suivants:
- Pistons avec segments de piston et axes de piston
- Bielle avec coussinet de la tête de bielle
- Vilebrequin à plusieurs paliers (tourillons)
- Volant moteur

Pistons

La conception de base des pistons est identique pour tous les moteurs. En revanche, les pistons se différencient par:
- leur résistance mécanique
- leurs dimensions et leur forme
- leur résistance thermique



Matériaux des pistons:
- Alliages d'aluminium et de cuivre
- Alliages d'aluminium et de silicium
- Céramique

Bielle

La bielle établit la liaison entre le piston et le vilebrequin. La bielle devrait, malgré une résistance élevée, avoir une masse volumique faible, raison pour laquelle elle est fabriquée avec les matériaux suivants:
- Acier d'amélioration
- Alliage d'aluminium de qualité supérieure
- Titane (moteurs hautes performances)
- Matériaux frittés



La fabrication s'effectue par:
- Matriçage
- Coulage
- Frittage

Vilebrequin

Le vilebrequin transforme la force de la bielle en un mouvement rotatif. La conception est déterminée par les facteurs suivants:
- Conception du moteur
- Nombre de cylindres
- Cylindrée
- Nombre de paliers de vilebrequin

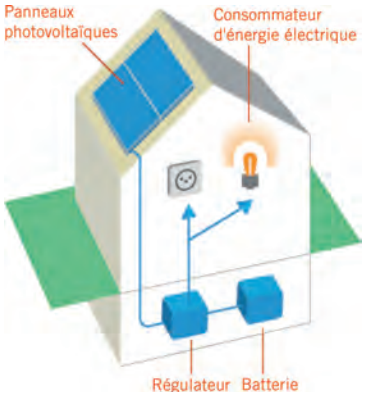


Procédés de fabrication usuels:
- Coulage
- Forgeage (fibrage idéal)

Photovoltaïque

Le terme photovoltaïque désigne la transformation directe du rayonnement solaire en électricité par des cellules photovoltaïques. Les modules photovoltaïques produisent du courant continu à partir du rayonnement.

Installation en îlot:



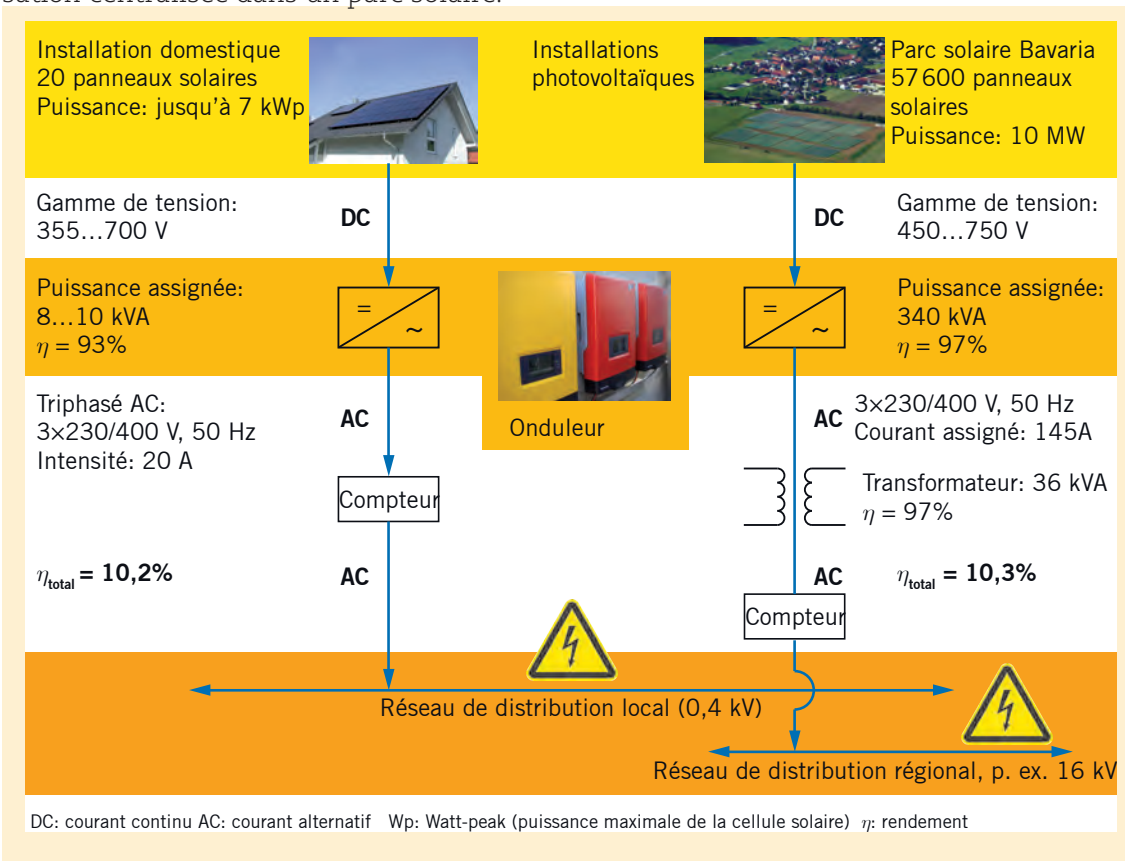
Installation connectée à un réseau de distribution électrique:



Légende:
1 onduleur DC/AC
2 compteur kWh production
3 compteur kWh consommation

Courant solaire injecté au réseau

Le graphique compare deux possibilité de génération de courant pour le réseau public au moyen du photovoltaïque: l'utilisation décentralisée dans un ménage privé et l'utilisation centralisée dans un parc solaire.



DC: courant continu AC: courant alternatif Wp: Watt-peak (puissance maximale de la cellule solaire) η: rendement

REMARQUE IMPORTANTE

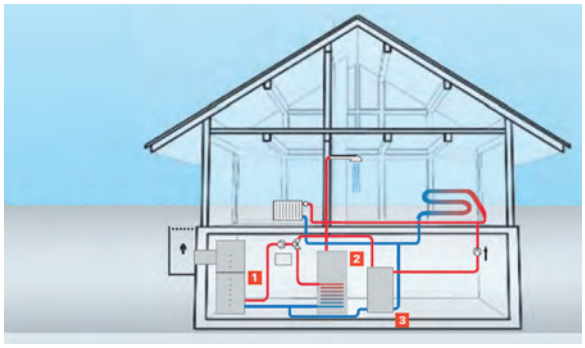
Les installations photovoltaïques sont des producteurs d'énergie propres, autonomes et fiables, ont une longue durée de vie et demandent peu d'entretien.

Sources d'énergie utilisées par les pompes à chaleur

L'air comme source de chaleur

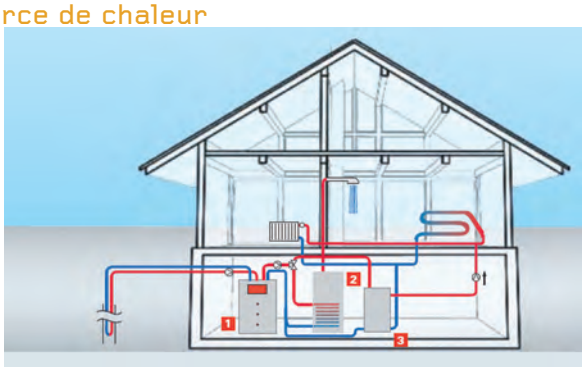
La pompe à chaleur aérothermique utilise l'air extérieur réchauffé par le soleil.

Légende:
1 Pompe à chaleur
2 Chauffe-eau
3 Accumulateur



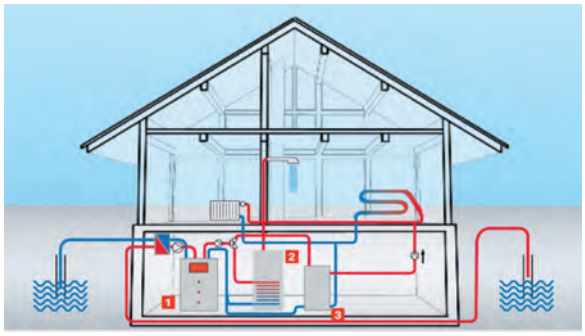
Les sondes géothermiques comme source de chaleur

L'énergie est alors prélevée par des sondes géothermiques verticales pouvant atteindre 100 m de profondeur. A cette profondeur, la température est constante tout au long de l'année, elle se situe vers 10°.



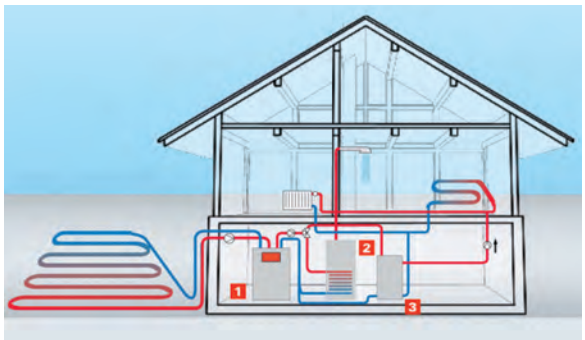
Les nappes phréatiques comme source de chaleur

La pompe à chaleur prélève la chaleur des eaux souterraines dont la température est constante indépendamment de la saison et de la température extérieure. Un puits d'aspiration amène l'eau de la nappe phréatique à la pompe à chaleur et un puits de refoulement rejette l'eau après avoir récupéré la chaleur.



Le sol comme source de chaleur

La pompe à chaleur saumure/eau utilise la chaleur de la terre où règne une température quasi-constante tout au long de l'année. Un collecteur géothermique, un système de tubes en serpentins, posé à une profondeur de 1,5 m, prélève de la chaleur au sol.



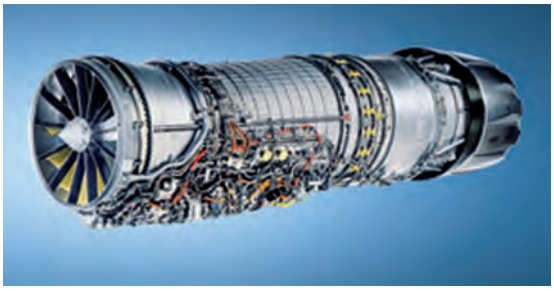
REMARQUE IMPORTANTE

Notre environnement est chauffé par le soleil. C'est pourquoi les nappes phréatiques, les lacs et les rivières, le sol et l'air extérieur sont des réservoirs d'énergie disponibles en tout temps (renouvelables).

Types de réacteurs avec leurs caractéristiques techniques

Turboréacteur simple flux (turbojet)

C'est l'un des réacteurs les plus performants conçus pour les avions de chasse de l'histoire de l'armée de l'air américaine. Ce réacteur est utilisé dans les avions de chasse F-15 et F-16.

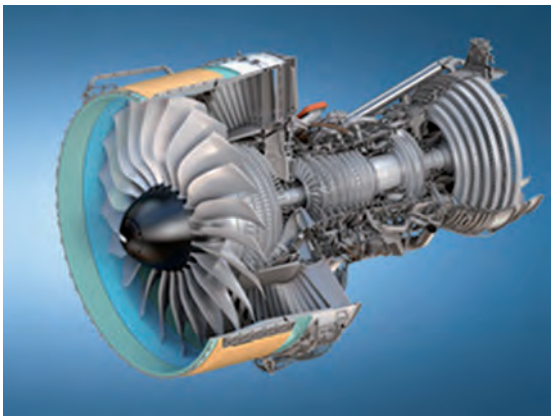


Caractéristiques techniques
Poussée max. 130 kN
Taux de compression 30,7
Taux de dilution 0,76:1
Longueur 4620 mm
Diamètre max. 1181 mm
Poids (à sec) 1805 kg

- turboréacteur à double flux et double corps avec post-combustion
- tuyère d'éjection convergente-divergente
- régulation numérique du moteur

Turboréacteur double flux (turbofan)

Ce type de réacteur est utilisé dans les vols long courrier, par exemple sur l'Airbus A380.



Caractéristiques techniques
Poussée 340 kN
Taux de dilution 9:1
Rapport de compression 43,9:1
Longueur 4740 mm
Diamètre de la soufflante 2950 mm

- turboréacteur double flux et double corps
- compresseur basse pression à 5 étages
- compresseur haute pression à 9 étages
- turbine haute pression à 2 étages
- turbine basse pression à 6 étages
- consommation de carburant basse en vitesse de croisière
- faibles émissions sonores
- faible poids

Turbopropulseur (turboprop)

Le TP400-D6 est utilisé dans l'avion de transport militaire Airbus A400M.

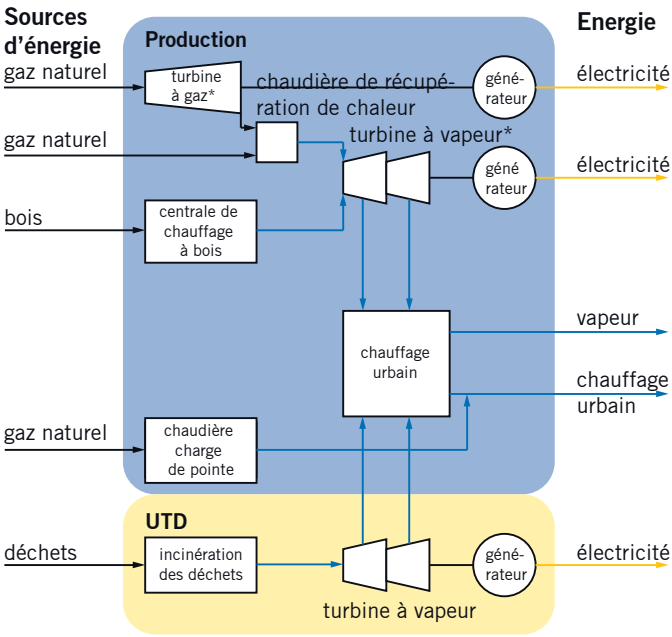


Caractéristiques techniques
Puissance maximale sur l'arbre 8200 kW
Longueur 3500 mm
Diamètre de l'hélice 5330 mm/8 pales
Poids env. 1860 kg

- turbopropulseur le plus puissant produit en Europe de l'Ouest
- frais d'entretien réduits
- longévité des pièces conforme à la certification civile

Centrale énergétique Forsthaus à Berne

Cette installation associant une usine de traitement des déchets (UTD), une centrale de chauffage au bois (CCB) et une centrale à cycle combiné (TGV) valorise les déchets pour produire de l'électricité, de la chaleur et de la vapeur pour la ville de Berne. La centrale énergétique Forsthaus couvre environ un tiers de la consommation électrique de la ville.



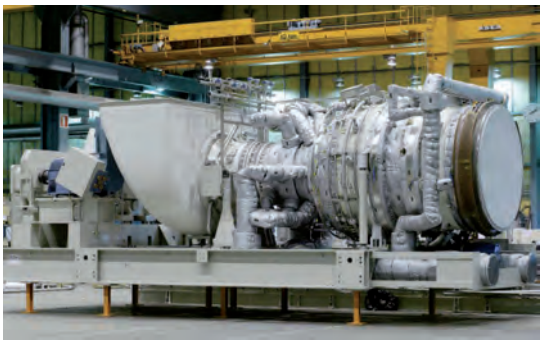
*les deux turbines forment le TGV

Caractéristiques techniques

Capacité UTD:	110 000 t d'ordures par an
Capacité CCB:	112 000 t de copeaux de bois p.an.
Capacité TGV:	650 000 MWh de gaz par an
Chauffage à distance:	env. 250 000 MWh par an
Vapeur distribuée:	env. 40 000 MWh par an
Production électrique:	env.. 360 000 MWh par an
Puissance électrique totale:	89 MW
Turb. à vapeur UTD:	16 MW
Turbine à vapeur TGV et CCB:	27 MW
Turbine à gaz:	46 MW
Année construction:	2009–2013
Site:	Ville de Berne

Turbine à gaz
La turbine à gaz est une machine mono-arbre avec 15 étages de compression. Les trois premiers étages ont des aubes directrices réglables.

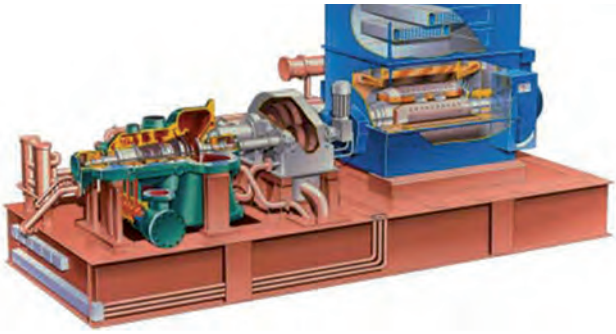
Vitesse de rotation de la turbine: 6600 min^{-1}
Taux de compression: 19:1
Rendement: 37,5%
Consommation de chaleur: 9597 kJ/kWh
Flux massique des gaz brûlés: 131,5 kg/s
Température des gaz brûlés: 544 °C



Les turbines à vapeur sont des turbines à vapeur industrielles mono-corps.

Turbine à vapeur UTD
Débit de vapeur max.: env. 77 t/h
Pression de service max.: env. 39 bars
Température de service max. 395 °C

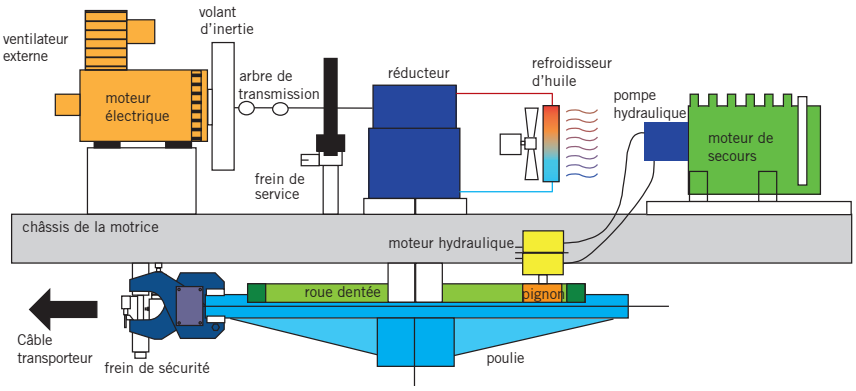
Turbine à vapeur TGV et CCB
Débit de vapeur max.: env. 104 t/h
Pression de service max.: env. 59 bars
Température de service max.: 480 °C



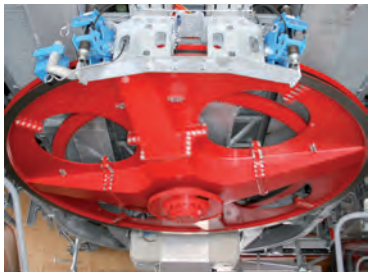
9.2 Gare d'arrivée

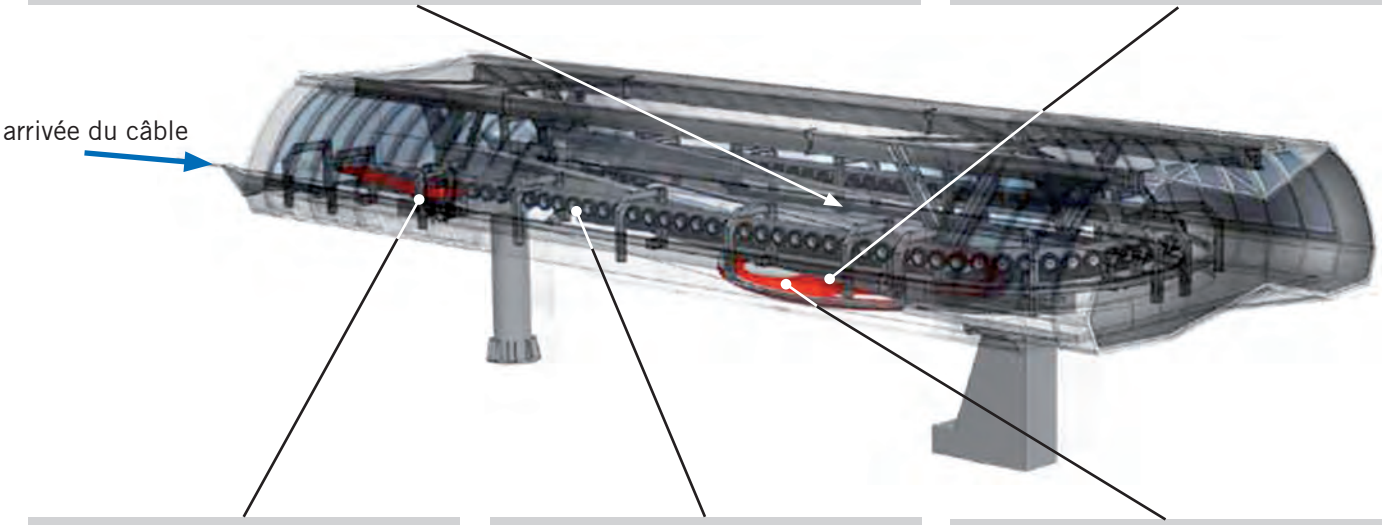
La gare d'arrivée comporte divers équipements et sous-ensembles. Désignons les plus importants.

Entraînement principal:
Le télésiège est entraîné par un moteur électrique. Le réducteur à train planétaire sert à réduire la vitesse et à augmenter le couple. Le mouvement de rotation entraîne la poulie.



Poulie:
Les poulies servent à dévier le câble tracteur dans les gares et les changements de direction. Pour que la contrainte de flexion du câble tracteur ne dépasse pas les limites admissibles, le diamètre de la poulie s'élève généralement à 80 fois le diamètre du câble.

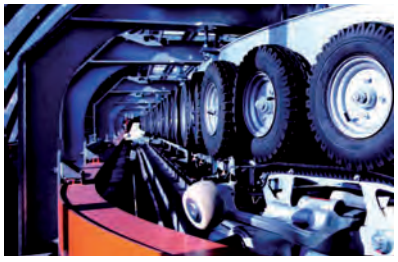




Entraînement du convoyeur à pneus:
Les convoyeurs à pneus sont entraînés par des galets qui prennent mouvement sur le câble.



Convoyeur à pneus:
Lorsque les sièges sont désolidarisés du câble, ils sont soit accélérés, soit freinés par le convoyeur à pneus. L'entraînement des pneus s'effectue au moyen d'une courroie de roue à roue. La vitesse de rotation des pneus est déterminée par le choix du diamètre de la poulie.



Frein de sécurité:
Le frein de sécurité sert à freiner l'installation et à l'immobiliser en cas de défaillance. Il s'agit d'un frein à disque qui agit directement sur la poulie motrice.

