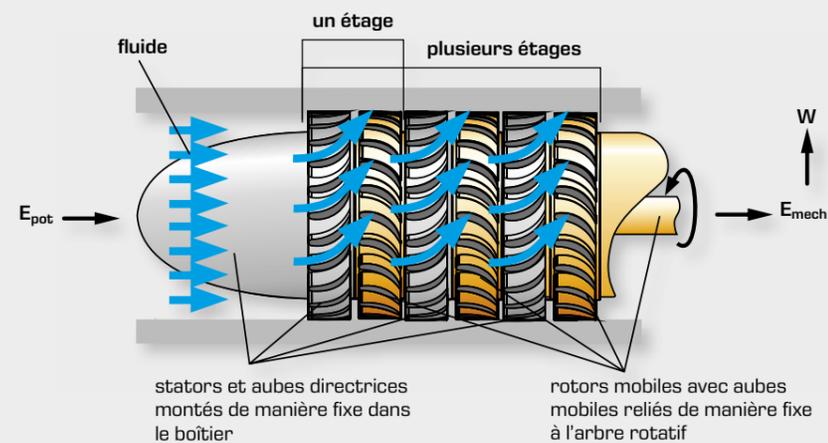


Connaissances de base Turbines

Les turbines font partie des turbomachines motrices: de l'énergie est prélevée sur le fluide en écoulement et libérée vers l'extérieur sous la forme d'un travail mécanique. Les composants principaux d'une turbine sont le rotor qui tourne et le distributeur qui est lui en position fixe. L'ensemble constitue un étage. Souvent, la quantité d'énergie qui doit être prélevée sur le fluide

est tellement grande qu'un étage unique ne suffit pas pour le faire. Plusieurs étages sont alors montés en série pour former une turbine à plusieurs étages. C'est le cas dans la pratique lorsque les différentiels de pression deviennent trop élevés pour un seul étage.



E_{pot} énergie potentielle, E_{mech} énergie mécanique, W travail délivré par la turbine

Les turbines peuvent être classées selon les caractéristiques suivantes

1. Milieu de travail

- turbines hydrauliques
- turbines à vapeur
- turbines à gaz
- turbines éoliennes

2. Principe de fonctionnement

- turbines à action: turbines à impulsion, turbines à jet libre, turbines à flux croisé
- turbines à réaction

3. Direction d'écoulement

- turbines axiales
- turbines radiales
- turbines diagonales

Les turbines GUNT sont également classées selon ces caractéristiques.

Dans l'industrie, les classements suivants sont également utilisés:

- selon le type de construction externe: p. ex. selon la position de l'arbre ou l'alimentation en eau: turbines puits, turbines spirales, turbines bulbes, etc.
- selon le mode de fonctionnement: soit en mode turbine uniquement, soit en marche réversible en tant que turbine-pompe
- selon la régulation: à régulation simple uniquement par le distributeur ou à régulation double par le distributeur et les ajustages sur le rotor

En raison des nombreuses caractéristiques, certains classements se recoupent et donc certaines turbines peuvent être classées dans différents groupes.

Classification selon le principe de fonctionnement

Malgré le grand nombre de caractéristiques qui les différencient, on peut toutefois opérer une répartition de base entre **turbines à action et turbines à réaction**. La conversion de l'énergie est ici décisive.

Sur toutes les turbines, la pression et donc l'énergie potentielle du milieu de travail sont modifiées dans le distributeur. Mais c'est par leurs rotors que l'on différencie les turbines à action des turbines à réaction.

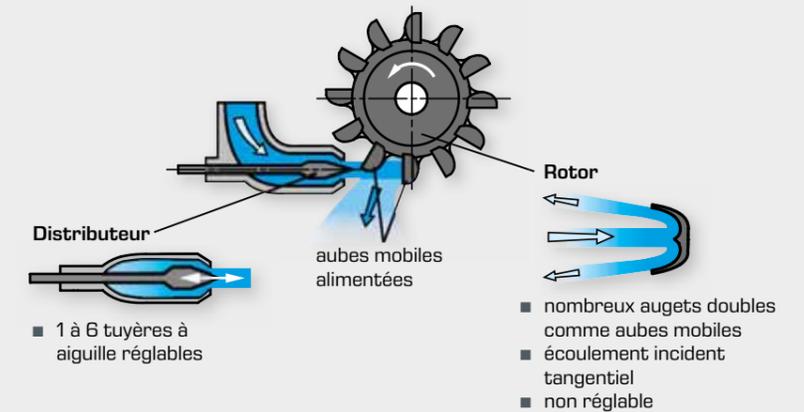
Turbines à action

Dans les turbines à action, l'énergie de pression potentielle est entièrement convertie en énergie cinétique dans le distributeur. Le rotor est partiellement alimenté par un écoulement sans pression. "Partiellement alimenté" signifie que seules quelques-

unes des aubes mobiles sont alimentées en même temps par le jet. La **turbine Pelton** représente un exemple typique de turbine à action.



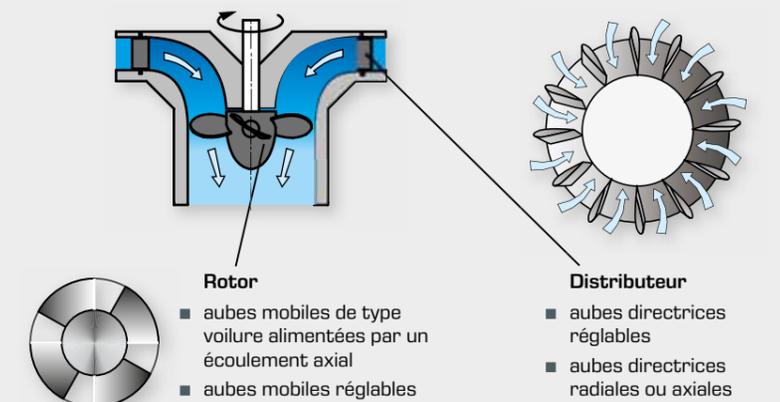
Rotor avec augets doubles comme aubes mobiles et tuyères à aiguille



Turbines à réaction

Dans les turbines à réaction, la pression à l'entrée du rotor est plus élevée qu'à sa sortie. La transformation de l'énergie de pression a lieu à la fois dans le distributeur et dans le rotor. L'énergie cinétique est ensuite convertie en travail mécanique

dans le rotor. Le rotor est intégralement alimenté par l'écoulement. "Intégralement alimenté" signifie que le périmètre complet des rotors est traversé par le milieu de travail. La **turbine Kaplan** représente un exemple typique de turbine à réaction.

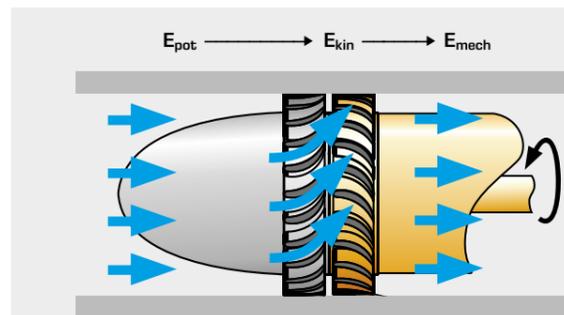


Connaissances de base
Turbines

Introduction à la théorie des turbines en prenant l'exemple d'une turbine axiale à un étage

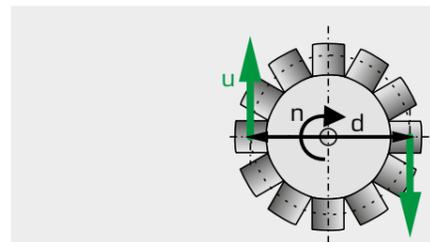
Les turbines axiales se prêtent très bien à l'explication des lois fondamentales: elles peuvent être dimensionnées en tant que turbine à action ou turbine à réaction.

De même, on peut utiliser des milieux de travail très divers sur les turbines axiales: elles fonctionnent aussi bien avec de l'eau qu'avec de la vapeur ou du gaz. Toutes les données ci-après concernent les turbines axiales.



Énergie

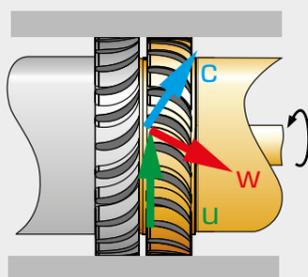
Une conversion d'énergie a lieu à l'intérieur de la turbine. Il s'agit de prélever sur le fluide en écoulement une composante d'énergie exploitable sous la forme de travail mécanique. Le fluide contient aussi bien de l'énergie potentielle (pression) que de l'énergie cinétique (vitesse). L'énergie potentielle est dans un premier temps également convertie en énergie cinétique du fluide. Dans un second temps, l'énergie cinétique du fluide est convertie en énergie mécanique exploitable.



Vitesses

Le rotor de diamètre d tourne à la vitesse de rotation n , produisant une vitesse circonférentielle u au milieu des aubes mobiles. La direction de u est toujours perpendiculaire à l'axe de rotation. Cette direction est appelée direction circonférentielle.

u vitesse circonférentielle,
 n vitesse de rotation,
 d diamètre

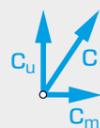


c vitesse absolue,
 w vitesse relative,
 u vitesse circonférentielle

La **vitesse circonférentielle** u se rapporte au rotor. Elle est la même à l'entrée et à la sortie du rotor.

La **vitesse relative** w correspond à la vitesse de l'écoulement par rapport au rotor qui tourne.

La **vitesse absolue** c est la vitesse d'écoulement par rapport à l'environnement au repos. Elle renseigne sur l'énergie cinétique du fluide. La vitesse absolue peut être décomposée en composante c_u dans la direction circonférentielle et composante c_m dans la direction axiale.

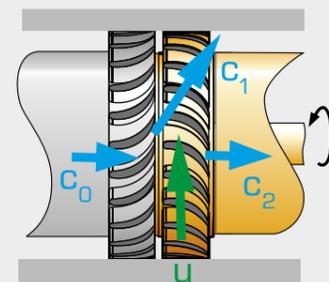


Toutes les vitesses sont des grandeurs vectorielles et peuvent être décomposées en composantes dans la direction circonférentielle ainsi que dans les directions radiale et axiale.

D'un point de vue mathématique, on a la relation suivante entre les trois vitesses:

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w}$$

Le chemin d'exploitation de l'énergie: comment l'énergie contenue dans le fluide est-elle convertie dans la turbine?



Le fluide s'écoule à la vitesse c_0 dans le stator. La géométrie des aubes directrices a pour effet d'accélérer le fluide qui arrive à la vitesse c_1 sur l'aube mobile. L'aube mobile dévie le milieu de travail. La déviation produit une force sur l'aube mobile, ce qui fait tourner le rotor à la vitesse circonférentielle u .

En passant à travers le rotor, la vitesse du fluide baisse de c_1 à c_2 en raison de l'énergie délivrée au rotor.

Le travail délivré par le fluide à la turbine est calculé à partir de la force s'exerçant sur l'aube mobile. On parle de "**travail spécifique**" car le travail transmis à l'intérieur de la turbine peut être rapporté à la masse du fluide.

l'indice 0 désigne l'entrée du stator,
l'indice 1 la sortie du stator ou l'entrée du rotor,
l'indice 2 la sortie du rotor

Équation principale d'Euler sur les turbomachines

$$Y = \Delta (u \cdot c_u)$$

Y travail spécifique, u vitesse circonférentielle, c_u composante de la vitesse absolue dans la direction circonférentielle

Le travail spécifique est un indicateur de baisse d'énergie entre l'entrée et la sortie et correspond à la composante d'énergie exploitable. Pour calculer le travail spécifique, on utilise l'**équation principale d'Euler sur les turbomachines**.

Pour les turbines, on a:

$$Y = u_1 \cdot c_{1u} - u_2 \cdot c_{2u}$$

Sur les turbines, les vitesses à l'entrée du rotor exercent un effet d'entraînement sur le rotor, tandis que les vitesses à la sortie du rotor ont un effet freinant. C'est pourquoi il faut les soustraire.

Le gain d'énergie ou le travail spécifique total provient de la chute de vitesse de c_1 à c_2 dans la direction circonférentielle.

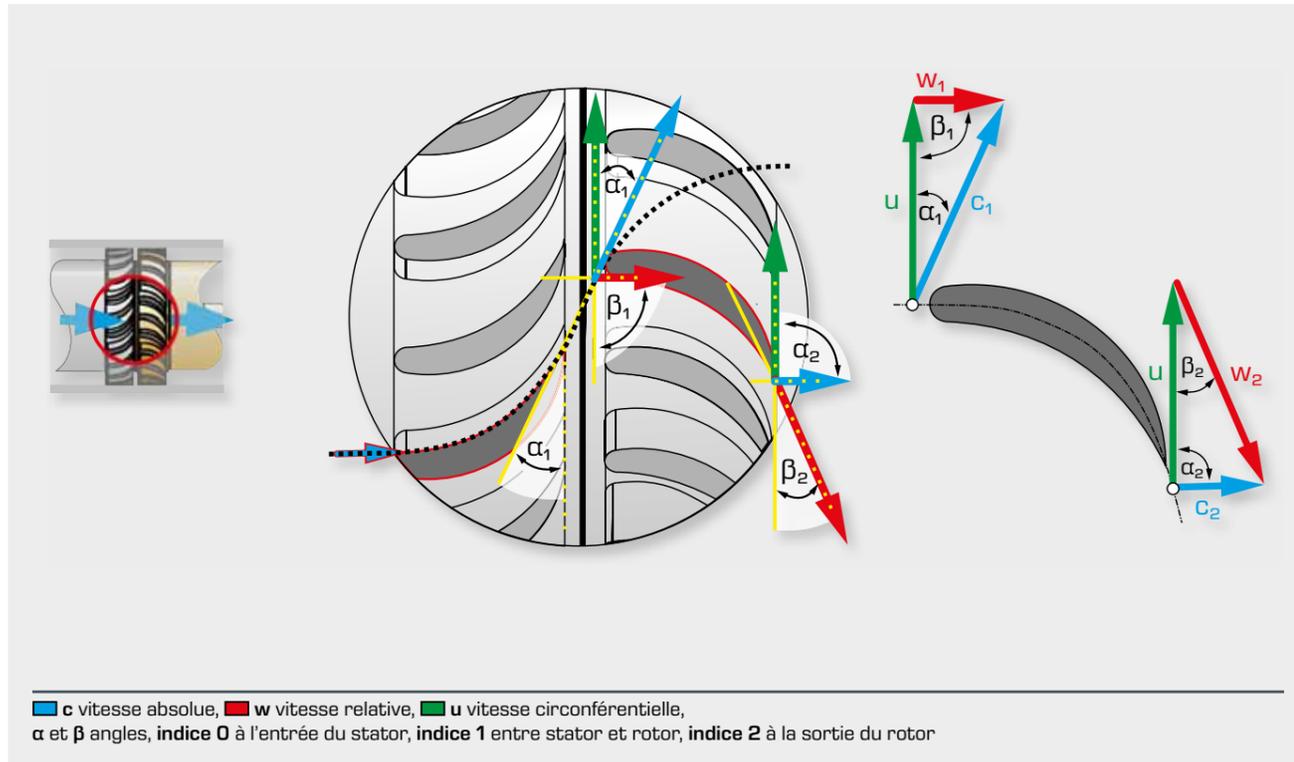
La chute de vitesse ou le gain d'énergie sont bien visibles dans les triangles des vitesses.

Connaissances de base Turbines

Triangles des vitesses

Les triangles des vitesses permettent de représenter les conditions d'écoulement. Les vitesses d'écoulement caractérisent les états respectifs d'un écoulement. Pour définir les variations de l'énergie cinétique, on détermine les vitesses d'écoulement (par leur valeur et leur direction). On a recours à cet effet aux triangles des vitesses.

Les triangles des vitesses jouent un rôle décisif pour le dimensionnement d'une turbine, afin de déterminer la composante maximale d'énergie exploitable. En se servant des triangles des vitesses, on peut très bien visualiser les effets produits par la modification des paramètres de dimensionnement.



La **vitesse absolue c** est la vitesse d'écoulement par rapport à l'environnement au repos. La direction de c_1 correspond à la tangente de la courbure de l'aube directrice (l'angle α_1) à la sortie du stator.

À l'entrée du stator, la vitesse absolue c_0 et la vitesse relative w_0 ont la même valeur.

La **vitesse relative w** correspond à la vitesse de l'écoulement par rapport au rotor qui tourne. La direction de w correspond à la tangente de la courbure de l'aube mobile (les angles β_1/β_2) au point considéré.

La **vitesse circonférentielle u** se rapporte au rotor. Elle est la même à l'entrée et à la sortie du rotor.

La ligne noire en pointillés correspond à la ligne de courant d'une particule de fluide qui traverse la turbine. Sur l'aube mobile, on peut se servir des trois vitesses (définies par leur valeur et leur direction) pour dessiner le triangle des vitesses pour chaque point le long de la ligne de courant.

L'entrée et la sortie du rotor sont représentées dans le graphique. Les lignes jaunes sont des repères qui aident à tracer les tangentes de la courbure des aubes et à déterminer les angles.

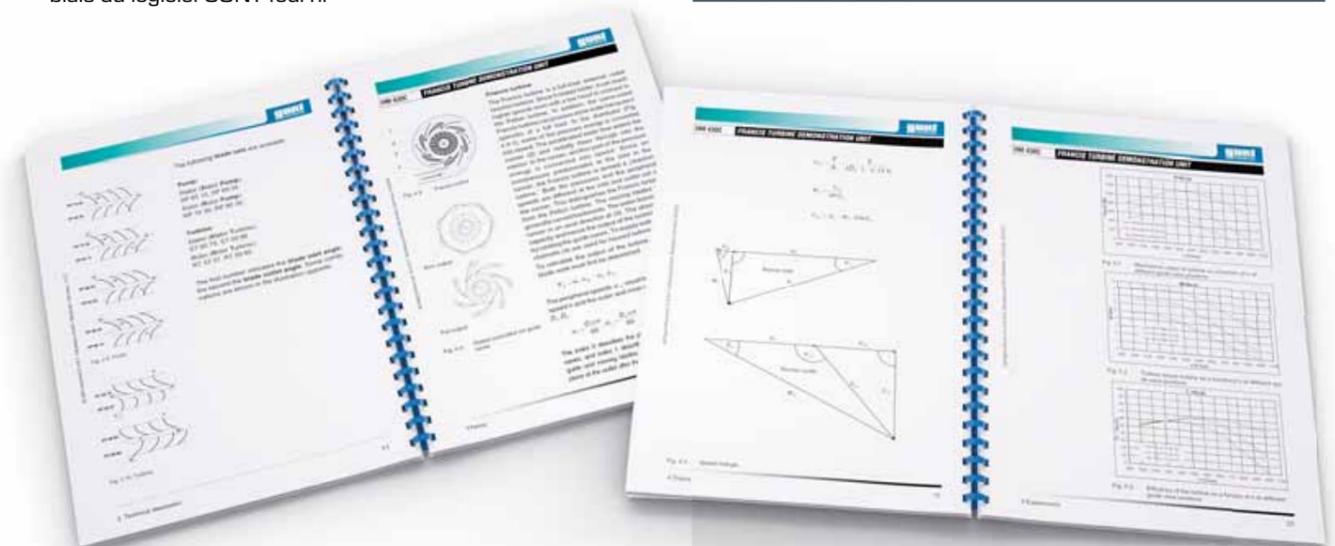
Toutes les valeurs d'angle indiquées pour les vitesses sont valables pour un fonctionnement au point de dimensionnement qui offre un écoulement incident optimal à la position considérée.

La documentation didactique

Tous les appareils d'essai de GUNT sont accompagnés d'une documentation didactique. Elle va bien au-delà d'une simple notice d'utilisation de l'appareil.

La documentation didactique comprend:

- une description détaillée de l'appareil avec une notice d'utilisation très complète
- des connaissances de base théoriques
- une sélection d'essais de référence
- du matériel pour les essais tels que des modèles de tableaux et diagrammes
- des propositions d'analyse des essais et d'interprétation des résultats des essais; en partie sous forme numérique par le biais du logiciel GUNT fourni



Pour les machines à fluide du programme GUNT, les diagrammes de vitesse sont expliqués en détail. L'établissement des triangles des vitesses est également décrit en détail. Les différences entre les triangles des vitesses des machines motrices et des machines réceptrices sont expliquées.

