에너지 백과 사전 Encyklopedia Energii Enciclopedia da Energia Enciclopèdia de la energia
Encyclopédie de l'énergie Enciclopedia de la Energia Bách Khoa toàn thư về năng lượng
دایره المعارف انرژی Enciclopedia della Energia موسوعة الطاقة
Encyclopedy of Energy Enzyklopädie für Energie Энциклопедия Энергии
Εγκυκλοπαιδεια της Ενέργειας 能源百科全书 エネルギーの百科事典 Enerji ansiklopedisi

Article : 070

Les ouvrages hydrauliques

ULRICH Thibaud

nov.-15

Niveau de lecture : Peu difficile

Rubrique : Sources renouvellables

Parmi les grandes infrastructures hydrauliques sur le territoire, les plus courantes sont : l'aménagement des rivières, les barrages, les canaux et les écluses, les tunnels hydrauliques et les conduites, les retenues d'eau, les stations de pompage et les centrales hydroélectriques.

Ces infrastructures ont des buts divers tels que la protection contre les crues pour aider au développement d'activités humaines, la navigation fluviale pour le transport de marchandises, les transferts d'eau c'est-à-dire le transport de larges quantités d'eau d'une région à l'autre, l'alimentation en eau des villes, des industries et des cultures irriguées, la production d'énergie hydroélectrique. Dans ce qui suit ne sont traités que les ouvrages participant à la production d'énergie, c'est-à-dire principalement les barrages et les centrales hydroélectriques.

1. Les barrages

Un cours d'eau naturel dans une vallée ou dans une plaine se trouve en dessous du niveau des terrains dans lesquels il a creusé son lit. De plus la profondeur d'eau peut être très faible à l'étiage et varier de manière important en fonction des crues. Enfin la ressource en eau disponible dans ce cours d'eau varie durant suivant les saisons et même les années.

Dans ces conditions, il est souvent difficile de tirer de l'eau de ce cours d'eau de manière régulière et fiable et sans avoir recours à une énergie pour relever cette eau par pompage ou par d'autres systèmes de relevage.

Le premier but d'un barrage sur un cours d'eau est de contrôler le niveau d'eau pour créer un plan d'eau à niveau fixe ou peu variable à partir duquel une prise d'eau pourra alimenter de manière gravitaire un canal ou une conduite conduisant cette eau vers les usagers de cette ressource. Le plan d'eau lui-même peut être source d'activités humaines. Souvent on cherche également à créer un volume de stockage d'eau pour pallier les irrégularités de la ressource en eau dans le temps, ou pour amortir les crues, ce qui est obtenu en augmentant la hauteur du barrage.

Finalement les barrages sont destinés à permettre divers usages de l'eau tels que l'alimentation en eau des villes, des industries ou des cultures, production d'énergie hydroélectrique ou parfois activités des activités de pêche et de loisir. Un barrage peut répondre à un ou plusieurs usages et dans ce dernier cas on parle de barrage à buts multiples.

Fig. 1 : Barrage de Muyadin à Oman pour l'amortissement des crues

Fig. 2 : bloc évacuateur en béton et digues en remblais

1.1. Les barrages antiques

On trouve des traces de barrages antiques dans divers pays du moyen orient.

Le barrage de Sadd al-Kafara sur le Wadi Garawi en Egypte au sud-est du Caire et datant de 2900-2600 av. J.-C. serait le plus vieux barrage du monde construit en pierre. Il aurait fallu plus de 100 000 m^3 de matériaux pour bâtir ce barrage de 106 mètres de long au sommet, d'environ 15 mètres de hauteur, et d'une épaisseur variant entre 84 mètres à la base et 62 m au sommet.

Le barrage devait se composer d'un remplissage de pierres grossières ou déchets de carrières tassés et compactés entre deux murs de 13 mètres d'épaisseur en crête munis de parements extérieurs en maçonnerie de pierres taillées et soigneusement ajustées.

Ce chantier colossal pour l'époque nécessita sans doute près d'une décennie. Mais tout semble prouver que le barrage ne fut jamais mis en eau. Il fut en partie détruit par une crue et les Égyptiens abandonnèrent alors le chantier.

1.2. Les barrages actuels : seuils fixes et barrages mobiles

Le barrage le plus simple est un seuil fixe sur une partie duquel le cours d'eau vient déverser en cas de crue. Les seuils les plus anciens sont réalisés en maçonnerie. Ces seuils fixes permettant le déversement sont maintenant construits en béton ou en remblai protégé par une carapace en enrochements.

Ce seuil fixe va créer un plan d'eau dont le niveau variera suivant la quantité d'eau déversée sur le seuil. Il permettra de dériver une partie du cours d'eau ou de contrôler les érosions du lit plus en amont dans le cas d'une rivière ayant tendance à creuser son lit.

En revanche ces seuils fixes ne permettront pas de faire transiter le transport solide charrié dans le cours d'eau, si bien que le réservoir ainsi créé tendra à se remplir de sédiments et perdra progressivement sa capacité. En général une petite passe vannée permet de créer un écoulement nettoyant le fond devant la prise d'eau située à l'extrémité du seuil, mais ce dispositif ne permet pas de contrôler le niveau de sédiments dans la retenue formée par le seuil.

Pour permettre le passage des sédiments et mieux contrôler le niveau du plan d'eau, on utilise un barrage mobile constitué de plusieurs passes vannées et deux digues latérales non submersibles pour compléter la fermeture de la retenue. Les vannes permettent de réguler le niveau du plan d'eau à volonté malgré la variation des débits du cours d'eau, et peuvent également s'effacer pour permettre le passage des crues.

Fig. 3 : Seuil de dérivation de l'aménagement hydro-électrique de Félou sur le fleuve Sénégal au Mali, hauteur 2 m, longueur 900 m

1.3. Types de barrages actuels : barrages réservoir

La surélévation du plan d'eau répond en général au besoin de créer une capacité de stockage d'eau pour faire face aux variations de la ressource. Dans le cas d'un aménagement hydroélectrique, la surélévation du plan d'eau peut résulter d'un optimum économique entre le coût du barrage et la quantité d'énergie produite, les deux augmentant avec la hauteur du barrage.

Les plus hauts barrages existant dans le monde sont le barrage en remblai de Nourek au Tajikistan, d'une hauteur de 304 m, le barrage voute en béton de Xiaowan en Chine, d'une hauteur de 292 m et le barrage poids béton de la Grande-Dixence en Suisse, d'une hauteur de 285 m.

Le barrage des Trois-Gorges est un barrage situé au cœur de la Chine, sur le Yangzi Jiang, dans la province du Hubei. Il a été mis en production par étapes de 2006 à 2009 et a créé une retenue de 600 kilomètres de longueur. C'est un barrage poids, long de 2 335 mètres et haut d'environ 140 mètres avec un évacuateur de crue d'une capacité de 116 000 m^3/s. Sa construction a nécessité vingt-sept millions de m^3 de béton et le volume de son réservoir est de 39,3 milliards de m^3.

Suivant les conditions topographiques du site, la qualité des fondations et des appuis en rive et suivant la disponibilité des matériaux de construction, les barrages réservoirs peuvent être de différents types.

Les barrages poids résistent à la poussée de l'eau par leur masse. Les barrages poids ont d'abord été construits en maçonnerie, puis en béton, et actuellement on trouve de plus en plus de barrages poids en béton compacté au rouleau (BCR). Le béton compacté au rouleau est un béton faiblement dosé en ciment qui se met en place en grandes masses par des techniques de terrassement.

Fig. 4 : Barrage EDF de Rizzanese en Corse, hauteur 40 m, type BCR

Les digues ou barrages en remblais sont également des barrages résistant à la poussée de l'eau par leur poids. Il peut s'agir de digues en terre homogènes pour des très petits barrages mais les barrages plus importants sont constitués de plusieurs éléments, les uns assurant la stabilité du barrage et les autres assurant son étanchéité.

Pour une même hauteur, un barrage en remblai sera beaucoup plus volumineux et aura une emprise au sol beaucoup plus grande qu'un barrage poids béton ou BCR, parce que les pentes des parements d'une digue sont beaucoup plus faibles que les pentes des parements d'un barrage en béton.

L'étanchéité peut être assurée par un noyau central en argile compactée, en béton plastique ou en béton bitumineux situé sur l'axe du barrage et maintenu par des recharges amont et aval en terre ou en enrochements. On parle alors de **barrages en remblai à noyau.**

Fig. 5 : Construction du barrage de Salalah à Oman, barrage en terre avec paroi en béton plastique, hauteur 22 m, longueur 6 km

L'étanchéité peur aussi être assurée par un masque sur le parement amont du barrage, on parle alors de **barrage à masque amont**. Il peut s'agir d'un masque bitumineux ou d'un masque en béton.

Les barrages voutes résistent à la poussée de l'eau essentiellement par leur forme de voute horizontale qui permet de reporter les forces de poussée de l'eau sur les rives. Le barrage voute nécessite que les rives de la vallée soient capables de reprendre ces efforts très importants.

Fig. 6 : Barrage voute de Turkwel au Kenya, hauteur 155 m, longueur en crête 170 m

Plus la vallée sera large, plus il sera nécessaire de compléter l'effet de voute par un effet de masse du barrage, on finira par parler de **barrage poids-voute** qui cumule les deux effets.

Une variante des barrages poids est le **barrage à contreforts** constitué par des éléments de murs verticaux reportant les efforts sur des contreforts. Dans certains cas on trouve enfin des **barrages à voutes multiples,** reportant la poussée de l'eau sur une série de contreforts séparant ces voutes.

Fig. 7 : Barrage à voutes multiples de Grandval dans le Cantal – source : photo EDF

Enfin certains barrages combinent plusieurs solutions comme le barrage de Roseland articulant une voute à l'endroit où la gorge est la plus profonde, et des ailes constituées par des barrages à contreforts.

Fig. 8 : Barrage EDF de Roseland dans le Beaufortain – source : photo EDF

Dans le cas des barrages réservoirs, l'évacuation des sédiments de la retenue n'est possible que s'il est économiquement envisageable d'abaisser le niveau de retenue chaque année au moment des crues pour effectuer des chasses avec de grandes vannes situées à la base du barrage. Souvent on doit renoncer à faire transiter la totalité des sédiments soit parce que la vocation de la retenue est de faire face à des années sèches, soit parce que la perte de production hydroélectrique durant de longues périodes de chasse serait rédhibitoire. On doit donc prévoir une tranche morte, c'est-à-dire un volume en fond du réservoir destiné à se remplir progressivement au cours de la durée de vie économique de l'ouvrage. Dans ce cas, le piégeage des sédiments dans la retenue du barrage peut conduire dans certains cas à une forte érosion du lit plus en aval, et c'est un impact qui doit être étudié pour définir d'éventuelles mesures de compensation.

1.4. Nécessité d'un évacuateur de crue

Un barrage ne peut pas stocker l'eau apportée par les plus grandes crues et doit donc être muni d'un évacuateur de crue. L'énergie à dissiper au passage d'une crue par l'évacuateur du barrage est généralement très importante. Par exemple une crue de 300 m^3/s transitant dans l'évacuateur d'un barrage de 50 m de hauteur dégage une puissance de 150 MW qu'il faut dissiper au pied du barrage, sinon cette énergie serait capable d'éroder fortement la vallée en aval de l'ouvrage, pouvant même mettre en péril la fondation du barrage lui-même. Un évacuateur de crue comporte donc généralement un seuil de prise libre ou vannée, un coursier et un ouvrage de dissipation qui peut être un bassin à ressaut ou une fosse de dissipation creusée artificiellement.

Fig. 9 : Etude sur modèle réduit de l'évacuateur de crue du barrage de Turkwel au Kenya

2. L'énergie hydroélectrique

L'énergie hydroélectrique n'est pas la seule forme de production électrique à partir de l'énergie de l'eau mais elles ne constituent que de relativement faibles capacités de production en comparaison des centrales hydroélectriques. Ce sont les turbines appelées hydroliennes qui exploitent l'énergie cinétique des courants marins ou fluviaux [article 068], les installations qui exploitent l'énergie des vagues, ainsi que l'énergie thermique des mers [articles 041 et 051].

Les centrales hydroélectriques exploitent l'énergie potentielle de l'eau dérivée d'un cours d'eau et restituée plus en aval. L'énergie de cette chute d'eau ainsi créée est transformée en énergie mécanique par la turbine puis en énergie électrique par l'alternateur.

2.1. Le rôle de l'énergie hydroélectrique dans le bouquet énergétique

L'hydroélectricité constitue la première source renouvelable et la troisième source générale de production électrique au monde, soit en 2011, 16,3 %, derrière le charbon (40,6%) et le gaz (22,2%) mais devant le nucléaire (12,0%)[1]. En France, la production hydroélectrique a atteint 63,8 TWh en 2012(2), soit 11,8% de la production totale d'électricité du pays[2].

Contrairement aux systèmes de production des énergies renouvelables dites fatales, comme l'éolien et le solaire, les barrages et les centrales électriques sont capables de stocker de grandes quantités d'énergie sous la forme d'énergie potentielle des masses d'eau dans les retenues, et de restituer cette énergie au réseau électrique à volonté et avec une forte réactivité. Ainsi l'énergie hydroélectrique est à la fois la principale source d'énergie renouvelable mais aussi le complément indispensable aux énergies renouvelables dites fatales pour assurer l'équilibre des réseaux électriques.

Le développement de l'hydroélectricité est soutenu par une forte demande d'énergie électrique dans plusieurs grandes régions du monde, et par l'intérêt porté au développement des sources renouvelables sans production de gaz à effet de serre (GES). Dans le monde, 225 GW/an seront installés entre 2010 et 2030, dont 34 GW/an soit 15% provenant de centrales hydrauliques, selon l'Agence Internationale de l'Energie.

Les économies émergentes offrent un grand potentiel de développement puisque 30% seulement du potentiel hydroélectrique de l'Amérique du Sud et 22% de celui de l'Asie est utilisé. Sur les 176 GW actuellement en construction dans le monde, 63% se situent en Asie et 19% en Amérique du Sud.

En 2014, l'Afrique n'exploite que 7% d'un potentiel hydroélectrique exploitable très élevé, estimé à environ 10% du potentiel mondial. Le développement des réseaux d'interconnexion régionaux africains permet d'envisager la réalisation de projets hydroélectriques de grande envergure pour couvrir les besoins à l'échelle de ces régions.

En France, bien qu'il reste des gisements encore inexploités, la production hydroélectrique stagne ces dernières années à cause d'une faible pluviométrie, d'un parc vieillissant exigeant des opérations de maintenance, et d'une faible augmentation de la consommation énergétique.

---

[1] International Energy Agency. *World Energy Outlook*, 2013.
[2] RTE. *Bilan Electrique*, 2012.

2.2. Puissance, chute et débit des centrales hydroélectriques

Les installations peuvent être caractérisées selon trois critères.

2.2.1. Gammes de puissance

On distingue deux grandes classes de centrales hydroélectriques suivant leur puissance installée, les **Petites Centrales Hydroélectriques** (PCH) ou (*small hydro*) ou Petite Hydroélectricité (PHE), et les **Grandes Centrales Hydroélectriques** (GCH) ou (*large hydro*). La limite entre ces deux catégories peut varier d'un pays à l'autre mais elle est généralement située à 10 MW.

En France dans la catégorie de la petite hydroélectricité, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) retient le classement qui a été établi par l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique (UNIPEDE) :

- petite centrale pour une puissance comprise entre 2 000 kW et 10 000 kW
- mini-centrale pour une puissance comprise entre 500 kW et 2 000 kW
- micro-centrale pour une puissance comprise entre 20 kW et 500 kW
- pico-centrale pour une puissance inférieure à 20 kW.

Fin 2012, la PHE représentait 87 % des installations hydrauliques en France, y compris les Départements et Territoires d'Outre Mer (DOM TOM), mais seulement 9 % de la puissance installée et environ 10 % de la production d'électricité d'origine hydraulique [article 033].

Les Grandes Centrales Hydroélectriques représentent la plus grande partie de la puissance installée et ont des puissances variant de quelques dizaines à plusieurs dizaines de milliers de MW pour les installations les plus puissantes.

À l'heure actuelle, l'installation ayant la plus grande puissance de production jamais construite est le barrage des Trois Gorges en Chine. L'installation a une puissance totale installée de 22 500 MW constituée par 26 turbines de 700 MW et 8 unités supplémentaires (6 unités de 700 MW et 2 unités de 50 MW). La puissance des trois Gorges est le triple de la puissance installée de la plus grande centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa (7 réacteurs) d'une puissance installée totale de 8 212 MW. La puissance de la deuxième plus grande centrale hydroélectrique, celle d'Itaipu à la frontière entre le Brésil et le Paraguay, est de 14 000 MW.

Fig. 10 : Centrale hydroélectrique des Trois Gorges en Chine

Le projet Grand Inga au Congo, s'il se réalise, dépassera toutes les centrales existantes. Ce projet prévoit une puissance installée de 39 000 MW.

2.2.2. Débit, chute et puissance

La puissance hydraulique d'une chute d'eau, exprimée en watts (W), est le produit de la masse volumique de l'eau 1000 kg/m^3 par le débit Q (exprimé en m^3/s) et par la hauteur de chute H, exprimée en mètres de colonne d'eau mCE [article 017].

Les particules liquides d'un cours d'eau perdent progressivement leur énergie potentielle par frottement sur le fond et les berges en descendant le cours d'eau. Dans un aménagement hydroélectrique, l'eau du cours d'eau est dérivée à un certain point, transportée jusqu'à la centrale par des conduits hydrauliques à faible perte d'énergie puis restituée plus en aval. On dispose ainsi d'une chute d'eau dont l'énergie hydraulique est transformée en énergie mécanique par la turbine puis transformée en énergie électrique par l'alternateur. La puissance électrique délivrée par la centrale au transformateur du poste de départ vers le réseau électrique est la puissance hydraulique de la chute d'eau diminuée par les pertes de charges dans les conduits hydrauliques, par le rendement de la turbine, par le rendement de l'alternateur et par la consommation des équipements auxiliaires.

En ordre de grandeur pour une première approche, on a coutume de dire que la puissance d'une centrale exprimée en kW est égale à 8QH ce qui correspond à un rendement global de 82% pour l'installation.

D'après cette formule approximative, on doit turbiner un débit de 40 m^3/s pour générer une puissance de 100 MW sous 300 m de chute, alors qu'il faut turbiner 830 m^3/s pour générer la même puissance sous 15 mètres de chute.

2.3. Classement des centrales en fonction de leur chute et de leur mode de fonctionnement

A l'intérieur des deux grandes classes de centrales (PCH et GCH), les installations ne fonctionnent pas toutes de la même façon, n'ont pas d'égales capacités de stockage et ne travaillent pas sous des hauteurs de chute identiques.

2.3.1. Types de fonctionnement : gravitaires, STEP et marémotrices

Les centrales dites gravitaires sont celles qui utilisent l'énergie d'une chute d'eau, comme expliquéci-dessus. Ces centrales peuvent également stocker de l'énergie potentielle dans une retenue pour pouvoir produire de l'énergie électrique sur le réseau au moment le plus opportun pour l'équilibre de ce dernier.

Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP), aussi connues sous l'appellation centrales de pompage-turbinage, ont en outre la capacité d'utiliser l'énergie disponible sur le réseau lorsque cette énergie est excédentaire ou à faible valeur, pour pomper l'eau d'un bassin inférieur vers un bassin supérieur et transformer ainsi l'énergie électrique en énergie potentielle stockée dans le bassin supérieur. Les STEP sont aujourd'hui le seul moyen disponible pour stocker de grandes quantités d'énergie.

Les usines marémotrices utilisent l'énergie des marées en stockant l'eau à marée haute dans un estuaire ou dans un bassin créée artificiellement à l'aide de digues, puis turbinent l'eau ainsi stockée

en période de basses eaux. L'optimisation du fonctionnement conduit à turbiner et à pomper l'eau dans les deux sens au cours d'un cycle de marée, on parle de turbinage direct et indirect et de pompage direct et indirect.

2.3.2. Classement des centrales suivant leur capacité de stockage

S'agissant des seules centrales gravitaires, Le mode de fonctionnement dépend de la capacité de stockage de la retenue caractérisée par la constante de vidage, selon un terme utilisé par EDF. Il correspond au temps théorique qui serait nécessaire pour vider la réserve en turbinant à la puissance maximale. EDF distingue ainsi les centrales au fil de l'eau, les centrales à éclusées et les centrales de lac.

Les centrales au fil de l'eau ont une constante de vidage généralement inférieure à deux heures. Il peut s'agir de centrales de moyenne ou haute chute avec une simple prise d'eau sans stockage au niveau de la dérivation, ou de centrales de basse chute situées en partie basse des fleuves, là où la chute disponible est faible et où la production d'énergie se fait avec un débit d'eau important, d'où la difficulté d'obtenir une constante de vidage élevée. Une centrale au fil de l'eau utilise l'énergie du cours d'eau telle qu'elle se présente avec ses variations journalières ou saisonnières, sans pouvoir s'adapter à la demande en énergie ou privilégier les heures de production où l'énergie a une forte valeur. Cependant la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) a développé une régulation de la chaîne des centrales basse chute du Rhône permettant de placer au mieux sur le réseau une puissance d'environ 400 MW dans une période de 12 heures.

Les centrales à « éclusées » ont une constante de vidage comprise entre deux et deux cents heures. Leur capacité de stockage leur permet une modulation de la puissance délivrée dans la journée voire la semaine. Leur gestion permet de suivre la variation de la consommation sur ces horizons de temps (pics de consommation du matin et du soir, différence entre jours ouvrés et weekend, notamment). Elles sont typiques des aménagements réalisés en moyenne montagne.

Les centrales de lac, ou réservoirs, ont une constante de vidage supérieure à deux cents heures. Les centrales-lacs correspondent aux ouvrages présentant les réservoirs les plus importants. Ceux-ci permettent un stockage saisonnier de l'eau, et une modulation de la production pour passer les pics de charge de consommation électrique : l'été pour les pays où la pointe de consommation est déterminée par la climatisation, l'hiver pour ceux où elle est déterminée par le chauffage. On parle également de centrales de pointe. En Europe, ces centrales sont typiques des aménagements réalisés en moyenne et haute montagne. Certaines retenues sont capables de stocker plusieurs années d'apport d'eau, ces retenues se justifient pour fiabiliser la production d'énergie et l'alimentation en eau dans des pays où il n'est pas rare d'être confronté à des années sèches.

Les centrales à éclusées et les centrales de lacs peuvent être combinées avec une capacité de pompage pour créer une STEP. Il existe également des STEP fonctionnant totalement en circuit fermé entre deux bassins, notamment dans les pays où la ressource en eau est moins abondante.

Il est également possible de classer les centrales en fonction des caractéristiques de remplissage de leur réservoir, ce qui induit certaines contraintes dans l'usage électrique qui peut en être fait. En effet, la vitesse de remplissage du réservoir compte tenu de l'apport naturel a un impact direct sur la flexibilité d'utilisation.

2.3.3. Classement par hauteur de chute

On peut classer les ouvrages en fonction de leur hauteur de chute brute, c'est-à-dire de la différence d'altitude entre le niveau d'eau à la prise d'eau et le niveau d'eau à la restitution. Si on retranche à cette chute brute la perte de charge dans les conduits hydrauliques, on obtient la chute nette entre l'entrée et la sortie de la turbine hydraulique.

On distingue ainsi les centrales de basse chute (*low-head*), de moyenne chute (*medium-head*) ou de haute chute (*high-head*). Ici encore il n'y a pas de classement normalisé. Les limites entre les catégories de chute sont arbitraires et varient d'un pays à l'autre ou d'un auteur à l'autre.

On admet généralement que les centrales sont dites de **basse chute** lorsqu'elles utilisent une chute d'eau utile de 2 à 20 m. Les centrales basse chute sont généralement positionnées sur de grands cours d'eau à faible pente et fonctionnement essentiellement au fil de l'eau. Elles sont équipées de turbines Kaplan ou de groupes bulbes et peuvent turbiner des débits très importants.

Fig. 11: Centrale hydroélectrique de La Sarcelle, complexe de la Baie-James: débit turbiné 1 290 m3/s, chute nominale 10,8 m, 3 groupes bulbes de 43 MW chacun.

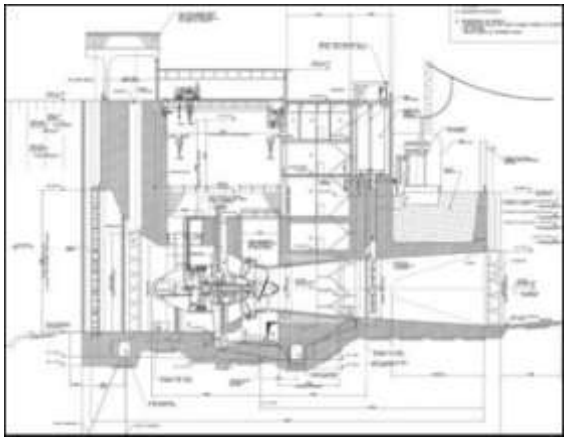

Fig. 12 : Centrale hydroélectrique de La Sarcelle, complexe de la Baie-James: débit turbiné 1 290 m3/s, chute nominale 10,8 m, 3 groupes bulbes de 43 MW chacun.

Les centrales basse chute sont souvent des centrales principalement au fil de l'eau ou éventuellement fonctionnant partiellement en éclusées dans le cas d'une grande surface de réservoir pour stocker un grand volume d'eau dans la tranche supérieure.

Pour des chutes de quelques dizaines de mètres, c'est-à-dire au-delà de 20 mètres de chute et jusqu'à 50 ou 60 mètres de chute, et même jusqu'à 100 m de chute chez certains auteurs, on parle de centrales de **moyenne chute**. Ce type de centrale se rencontre en moyenne montagne, souvent

en pied de barrage, et fonctionne en éclusées. Les turbines utilisées sont des turbines Kaplan ou Francis.

Fig. 13 : Centrale hydroélectrique de Manantali au Mali, 200 MW, 5 groupes Kaplan sous 46 m de chute

Pour les chutes supérieures aux valeurs indiquées plus haut, c'est-à-dire de quelques centaines de mètres, on parle de centrales de **haute chute**. Ces centrales se rencontrent souvent en haute montagne, elles sont équipées de turbines Francis ou Pelton pour les plus hautes chutes. La centrale hydroélectrique de Bieudron en Suisse détenait en 2010 le record mondial de la plus haute chute d'eau avec une hauteur de 1 880 mètres équipée en turbines Pelton d'une puissance unitaire de 400 MW.

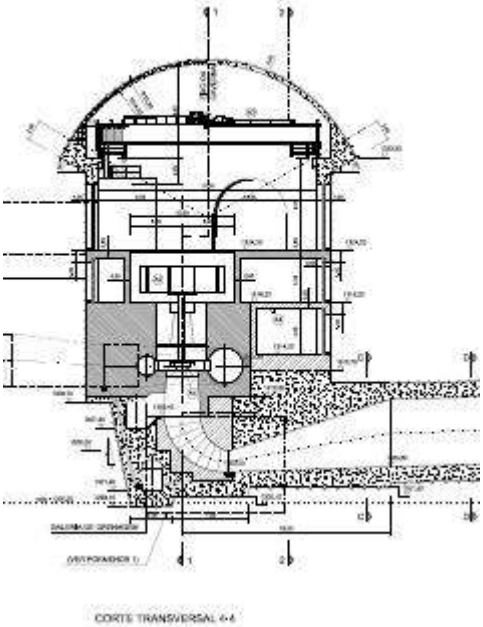

Fig. 14 : Coupe type d'une centrale de haute chute équipée de turbine Francis