



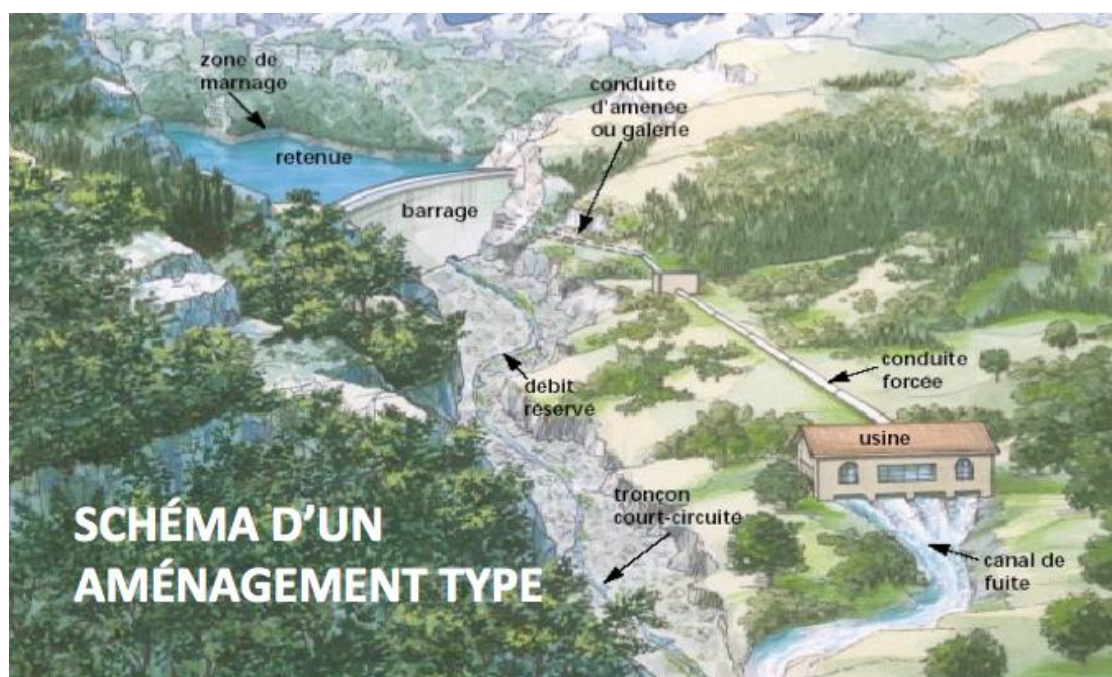
SEMAINE 4 : L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

Ce document contient les retranscriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « Aménagements hydrauliques » de la semaine 4 du MOOC « Énergies renouvelables ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs. Des figures choisies par les intervenants ont été ajoutées afin d'illustrer leurs propos.

Éléments constitutifs d'un aménagement hydraulique

François COLLOMBAT

Chargé de mission, Division production hydraulique - EDF



Le schéma à l'écran représente un aménagement type d'une installation hydroélectrique, nous allons le détailler en partant en haut à gauche jusqu'en bas à droite.

- La première chose que l'on voit, c'est le barrage bien entendu, c'est l'élément essentiel de l'aménagement hydraulique. Le barrage est en travers de la rivière et crée une retenue, c'est-à-dire un lac et on voit aussi ce qu'on appelle la zone de marnage, c'est-à-dire la variation du niveau de cette retenue en fonction des différents modes de fonctionnement de la turbine.
- L'eau est ensuite dérivée par ce qu'on appelle une conduite d'amenée, conduite d'amenée qui peut être aussi une galerie d'amenée dans le terrain, elle-même prolongée par une conduite forcée.
- La conduite forcée amène l'eau jusque dans la centrale.
- A l'intérieur de la centrale, bien entendu, nous avons les turbines.
- Lorsque l'eau sort des turbines, elle part grâce à un canal de fuite vers la rivière et donc on restitue l'eau à la rivière de façon naturelle.
- Entre le barrage et la confluence avec le canal de fuite, on a un secteur de la rivière très particulier que l'on appelle le tronçon court-circuité.
- ⇒ La part très importante de ce tronçon, c'est qu'il doit en permanence couler à un débit réservé. C'est le débit qui est nécessaire à la vie aquatique, à la vie piscicole et même à l'alimentation des nappes environnantes.
- ⇒ Voilà, ce qui est très important, c'est que le barrage doit comporter des ouvrages de restitution du débit lorsque l'usine est à l'arrêt et que la retenue est pleine ou lorsque le débit qui rentre dans la retenue est supérieur au débit d'équipement de l'usine.
- Si on décompose un peu plus près ces différents matériels, le premier bien entendu c'est le barrage. Comme son nom l'indique, il barre la rivière.
 - On peut avoir de très petits barrages, par exemple la prise d'eau de l'usine de Joucou, que l'on voit ici, on voit que c'est un mur qui ne fait même pas 2 mètres de haut mais tout de suite, en rive droite de la rivière, c'est-à-dire sur la partie gauche de la photo, on imagine une galerie qui part sous la montagne et qui va aller alimenter plus loin la centrale.
 - ⇒ À l'inverse, le barrage de la Girotte, qui est en Savoie, lui est très important, il a une retenue importante et il est constitué de multi voûtes.

La plupart des barrages en France sont des barrages en béton avec des techniques assez différentes.

- Le premier que vous avez à gauche, c'est ce qu'on appelle le béton compact roulé. En fait, c'est simplement un mur construit par tranches successives de béton compacté et c'est le poids du mur qui s'oppose à la poussée de l'eau.
 - Complètement à l'inverse, vous avez ce qu'on appelle les barrages voûtes. Celui que vous avez au centre de l'écran, c'est le barrage de Sainte-Croix, c'est un barrage qui est très mince relativement mais l'effort exercé par la poussée de l'eau sur le barrage est retransmis sur les rochers de part et d'autre et en fait c'est l'accrochage béton-rochers qui fait la résistance à l'eau.
- ⇒ Cette théorie de la voûte peut être mise en œuvre aussi en faisant de multi voûtes qui reposent non plus sur le rocher mais sur des plots et c'est ce que l'on voit sur le barrage de droite, c'est le barrage de Migouélou dans les Hautes-Pyrénées où la retenue d'eau est réalisée grâce à ces différentes petites voûtes.
- ⇒ On peut également faire des barrages poids-voûtes, c'est-à-dire faire l'alliance à la fois du barrage poids que l'on a vu en haut et du barrage voûte et vous avez en partie basse un barrage sur la Dordogne, qui par son poids s'oppose à l'eau mais en même temps la poussée de l'eau est répercutée sur les flancs de la vallée.
- Lorsque l'on est en rivière, en particulier pour les aménagements de basses chutes, comme sur le Rhône ou sur le Rhin, on construit des plots dans la rivière et on relie chaque plot par une vanne, qui est fermée en temps normal et qui s'ouvre si besoin lorsque les débits sont importants.
 - Autre type de barrage, les barrages remblais. Alors là ce sont des barrages poids qui s'opposent à la poussée de l'eau et qui sont réalisés la plupart du temps avec des matériaux étanches.
 - Le matériau étanche étant soit un noyau étanche en argile au centre du barrage, soit une membrane étanche qui est revêtue à l'amont du barrage.
- ⇒ Vous avez ici le barrage le plus important de France, même le volume le plus important d'Europe, c'est le barrage de Serre-Ponçon dans les Hautes-Alpes.

Après ce barrage, nous avons vu qu'il y avait un conduit d'amenée, le conduit d'amenée ça peut être une galerie, vous le voyez en haut à droite, c'est donc une galerie qui est carrément dans la montagne, soit si le terrain est très bon comme du granit, directement sur une galerie brute, sinon ce qu'on appelle une galerie revêtue, c'est-à-dire qu'après avoir foré on fait l'ensemble de la galerie revêtue en béton.

Après la galerie, conduite forcée, la plupart du temps en acier comme celle que vous avez ici sur la photo.

⇒ À l'heure actuelle, on utilise de plus en plus des conduites en matériau synthétique pour des hauteurs de chute de l'ordre de 100 mètres au maximum.

Le cœur de l'aménagement hydroélectrique : la turbine. Et là, en fonction de la hauteur de chute, on a des turbines complètement différentes.

- Si on est sur des aménagements de hautes chutes, on a des turbines Pelton, c'est ce que vous voyez sur le côté gauche, ce sont des turbines qui tournent dans l'air et qui sont actionnées uniquement par l'action du jet d'eau qui vient les frapper.

⇒ Bien entendu la turbine est à l'intérieur d'un capotage, de telle façon que l'eau ne soit pas envoyée dans tous les sens mais ce qu'il faut bien retenir c'est que c'est une action, c'est une poussée d'eau sur la turbine, un peu comme les moulins que l'on faisait lorsqu'on était enfant.

- À l'inverse, pour les chutes moyennes, nous avons ce que l'on appelle turbine Francis, qui sont des turbines entièrement noyées, vous le voyez en coupe sur la partie inférieure.

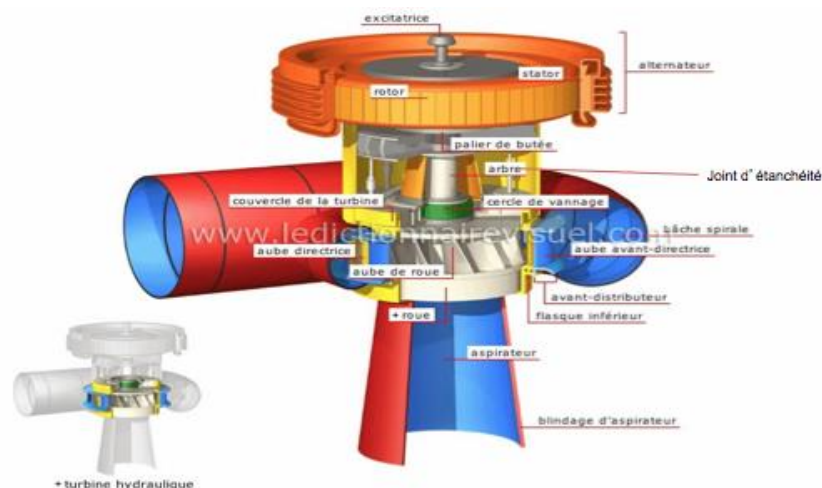
⇒ La turbine est entièrement noyée, le fonctionnement est totalement différent, c'est ce qu'on appelle un fonctionnement à réaction.

⇒ C'est la pression de l'eau qui vient s'exercer sur des pales sont orientées qui forme un couple moteur sur l'arbre de la turbine.

- Pour les centrales de très basses chutes ou de basses chutes, on a ce qu'on appelle des turbines Kaplan.

⇒ En fait ce sont des turbines Francis qui n'ont plus que quatre ou cinq pales.

⇒ La particularité c'est que ces pales sont orientables et en fonction du débit, on peut faire manœuvrer la pale un peu comme des pales d'hélicoptère de telle façon à avoir le rendement maximum.



Vous avez ici la coupe d'un groupe hydraulique. Donc on voit le tuyau d'amenée - et bien entendu c'est une turbine Francis -, on voit le tuyau d'amenée d'eau autour de la turbine, ensuite on voit l'arbre de la turbine qui entraîne l'alternateur, le rotor de l'alternateur, le rotor lui-même produit un champ magnétique qui excite le stator et donc la sortie d'alternateur.

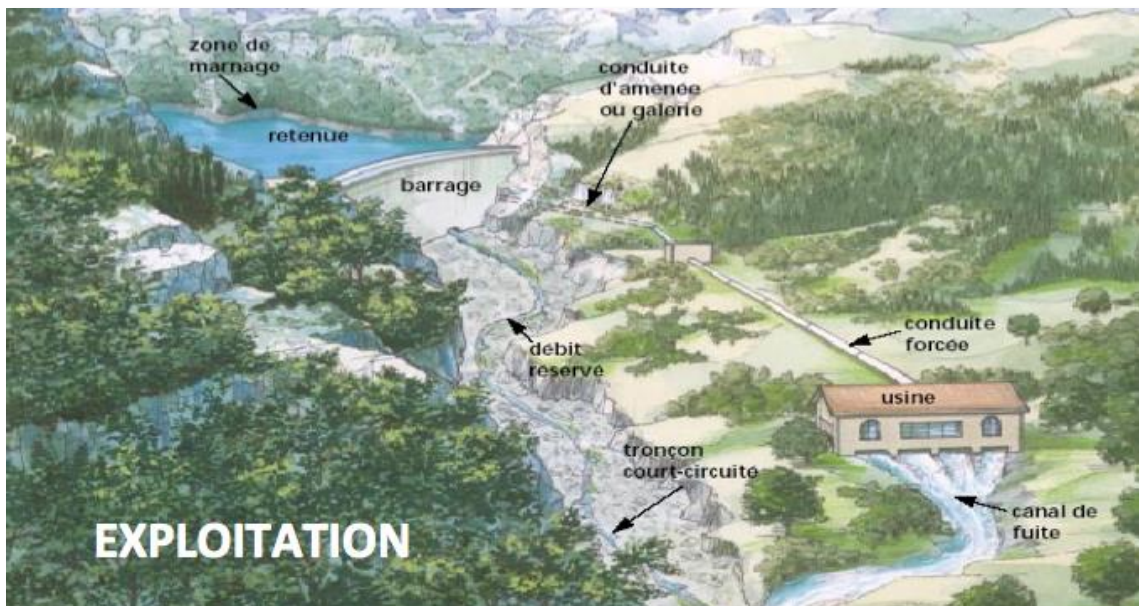
⇒ On imagine l'eau qui rentre sur le côté gauche, qui fait le tour de la turbine et qui descend ensuite dans le terme que l'on appelle aspirateur.

Énergie hydraulique : exploitation des aménagements

François COLLOMBAT

Chargé de mission, Division production hydraulique - EDF

Comme pour tout processus de production industrielle, l'exploitation d'un aménagement hydroélectrique consiste à conduire le processus et à maintenir les moyens de production. Donc sur le schéma que nous avons ici, je vais vous réexpliquer très rapidement en quoi consiste la conduite d'un aménagement hydraulique.



- Première des choses qu'il faut savoir, c'est que l'ensemble des aménagements hydroélectriques en France sont entièrement automatiques.
- La conduite proprement dit est automatique et l'aménagement est régi par des automates, des calculateurs, des ordinateurs.

On a deux types de fonctionnements :

- on a soit le fonctionnement au fil de l'eau ;
- soit le fonctionnement en éclusé ou en lac.

On va quand même d'abord commencer par le fonctionnement au fil de l'eau, celui qui semble le plus simple.

- Le fonctionnement au fil de l'eau, ça veut dire que l'eau qui arrive au niveau de la retenue est directement utilisée par l'usine, sans pouvoir faire varier le niveau de la retenue.

⇒ Le niveau de la retenue est constant.

- Dans notre jargon on a l'habitude de dire : tout ce qui rentre doit sortir, donc c'est très simple, l'eau rentre, l'eau sort.
- ⇒ Ce qu'il faut c'est que la retenue soit constante.
- Donc il suffit de mettre un petit calculateur - quand je dis petit calculateur, c'est quand même un calculateur sophistiqué -, qui en permanence mesure le niveau de la retenue et qui donne un ordre d'ouverture ou de fermeture de l'organe de la turbine de telle façon à ajuster le débit de la turbine au débit qui rentre dans la retenue.
- ⇒ À ce moment-là, le niveau étant constant, tout ce qui rentre sort et la puissance de l'usine sera proportionnelle au débit naturel. Très simple.
- Lorsque nous avons la possibilité de faire un marnage dans la retenue, à ce moment-là l'usine va être soit arrêtée, soit démarrée en fonction des besoins de l'énergie sur le réseau électrique.
- À ce moment-là, le calculateur ne va plus regarder le niveau de la retenue, mais va recevoir des ordres de fonctionnement et d'arrêt en fonction de la demande qui provient d'un centre de conduite qui lui-même est à distance, qui peut être à plusieurs centaines de kilomètres.
- À ce moment-là, il est quand même nécessaire de regarder le niveau de la retenue.
- ⇒ Il ne faudrait pas qu'à un moment donné le niveau soit tellement bas, qu'on a vidé la retenue et qu'à ce moment-là, bien entendu, on ne peut pas faire fonctionner la turbine ou que le niveau soit tellement haut que la retenue risque de déverser.
- L'automatisme, lui, va regarder – tant qu'on est entre le niveau très bas et le niveau très haut -, le fait que l'usine peut démarrer et arrêter à volonté tel qu'on en a besoin sur le domaine.
- Toujours dans l'exploitation, on doit regarder le débit réservé. C'est très important, en permanence le débit réservé doit être assuré.
- ⇒ Le débit réservé, il est réalisé par un orifice qui est au pied du barrage et on a là aussi un dispositif de contrôle qui s'assure que le débit est bien toujours présent.
- Tout est automatique, on n'a aucune personne chargée de la conduite de ces aménagements, les gens sont d'astreinte en dehors des heures ouvrables et bien entendu, on a un système d'alerte en temps réel si à un moment donné il vient à survenir un incident.
- ⇒ Les gens, par contre viennent ici pour faire surtout ce qu'on appelle la surveillance et la maintenance.

Le point le plus important dans un aménagement hydraulique, c'est la maintenance des ouvrages de retenues d'eau et de conduite.

⇒ On a pris d'ailleurs un terme médical : on dit l'auscultation des ouvrages.

- On les ausculte parce que ce sont des éléments qui sont vivants, vraiment : un barrage va bouger en fonction, par exemple, de la température du béton, il va se rétracter, il va se dilater, ou il va bouger par rapport à la poussée de l'eau.

⇒ Quand le barrage est plein il a tendance à partir vers l'aval, quand il est vide, il a tendance à revenir vers l'amont.

⇒ Donc on a des dispositifs à l'intérieur du barrage qui regardent tous ses déplacements et qui en permanence s'assurent que ces déplacements sont conformes à ce qu'avait prévu l'ingénieur qui a établi cet ouvrage.

➤ On a d'ailleurs de plus en plus maintenant automatisé ces dispositifs, qui nous permettent en même temps de regarder en temps réel le fonctionnement du barrage.

- Ensuite, sur les canaux, on doit aussi regarder en permanence qu'on n'ait pas des risques de rupture des digues. Donc on a des gens qui nous font des visites de berges de canaux.

⇒ Le canal de la Durance par exemple, c'est 250 km de canaux donc 500 km de berges à contrôler.

- Dans les galeries, de temps à autre, environ une fois tous les ans ou tous les deux ans, on vide la galerie, on fait une visite de galerie, telle que vous voyez et on regarde toutes les fissures qui pourraient être apparentes, on les identifie et on regarde si ces fissures n'ont pas tendance à se développer.

- Dernier point, les conduites forcées, là aussi on a des dispositifs qui permettent de contrôler leur tenue.

⇒ On imagine bien qu'une conduite forcée en plein soleil va avoir tendance à se dilater.

⇒ Et c'est encore plus grave, une conduite forcée en pleine montagne lorsqu'il fait nettement en dessous de zéro et si l'usine ne tourne pas, l'eau risque de se figer à l'intérieur, de geler et on sait qu'une eau qui gèle va avoir tendance à faire éclater la conduite forcée.

Ces ouvrages sont protégés par ce qu'on appelle des ouvrages de décharge.

- En haut, vous voyez un barrage avec sa vanne de vidange ouverte, c'est-à-dire qu'on a une vanne de vidange pour tous les barrages de telle façon que si, pour une raison quelconque, on doit vider la retenue, grâce à cette vanne on pourra vider la retenue, donc bien entendu, il faut que cette vanne ait une disponibilité quasi permanente et immédiate alors qu'on ne vide pas les retenues tous les jours, donc difficulté au niveau de la maintenance.

- Sur le côté gauche, on voit les vannes qui protègent les barrages au fil de l'eau. Là également, ces vannes doivent être opérantes à tout instant. La plupart du temps elles sont fermées bien entendu, on ne gaspille pas l'eau, on la fait passer dans les turbines mais si à un moment donné il faut pouvoir la lâcher, il faut que ces vannes fonctionnent.
- Dernier point, au niveau des galeries d'amenée, on a des très gros robinets comme celui que vous voyez là. Ce robinet-là, par exemple, fait plus de 2 mètres de diamètre, il obture une galerie. En permanence il est ouvert puisque l'eau va vers l'usine mais là aussi, si on a un problème, il faut pouvoir fermer ce robinet.
 - ⇒ Donc une maintenance très importante sur ce genre d'ouvrage.
- Les turbines, également, on identifie bien, enfin on voit bien que les turbines vont s'user, elles peuvent user pour deux raisons :
 - premièrement par l'érosion, parce que l'eau à tout instant n'est pas entièrement pure, on ne turbine pas de l'eau d'Evian, bien entendu, donc on a des sédiments, on a du sable qui vont venir user les turbines ;
 - Et puis aussi on a les phénomènes de cavitation.
- Lorsque les turbines sont trop usées, vous le voyez sur le côté gauche, on fait carrément ce qu'on appelle du rechargement, c'est-à-dire qu'avec un poste à soudeuse, on a quelqu'un qui va remettre du métal dans la turbine, qui ensuite va la meuler pour lui redonner son profil d'origine.
 - ⇒ Ici vous avez un homme mais là aussi on a beaucoup automatisé, on a beaucoup robotisé nos systèmes de réparation de turbine.
 - ⇒ Sur le côté droit, une grosse Kaplan, où des gens sont en train de travailler sur l'étanchéité de la roue
- Enfin, le matériel électrique lui aussi doit faire l'objet d'une maintenance.
 - ⇒ Sur le côté gauche vous avez un alternateur où on est en train de sortir un rotor.
 - ⇒ Très souvent - quand je dis très souvent c'est tous les 10 ans, environ -, il faut refaire l'isolation du rotor. C'est une opération très importante, il faut sortir la machine, il faut la nettoyer parce qu'il y a toujours de la pollution et ensuite la ré isoler.
 - En permanence aussi, contrôler les transformateurs.
 - ⇒ Vous avez sur le côté droit quelqu'un qui est en train de nous faire un contrôle complet d'un transformateur haute tension, et puis avant de partir sur le réseau, nous avons des disjoncteurs qui sont très sophistiqués, vous l'avez sur la partie centrale ou là également, nos gens font un contrôle très assidu du fonctionnement automatique de ces disjoncteurs.

La turbine VLH : un nouveau concept

Jacques FONKENELL

Directeur technique – MJ2 Technologies

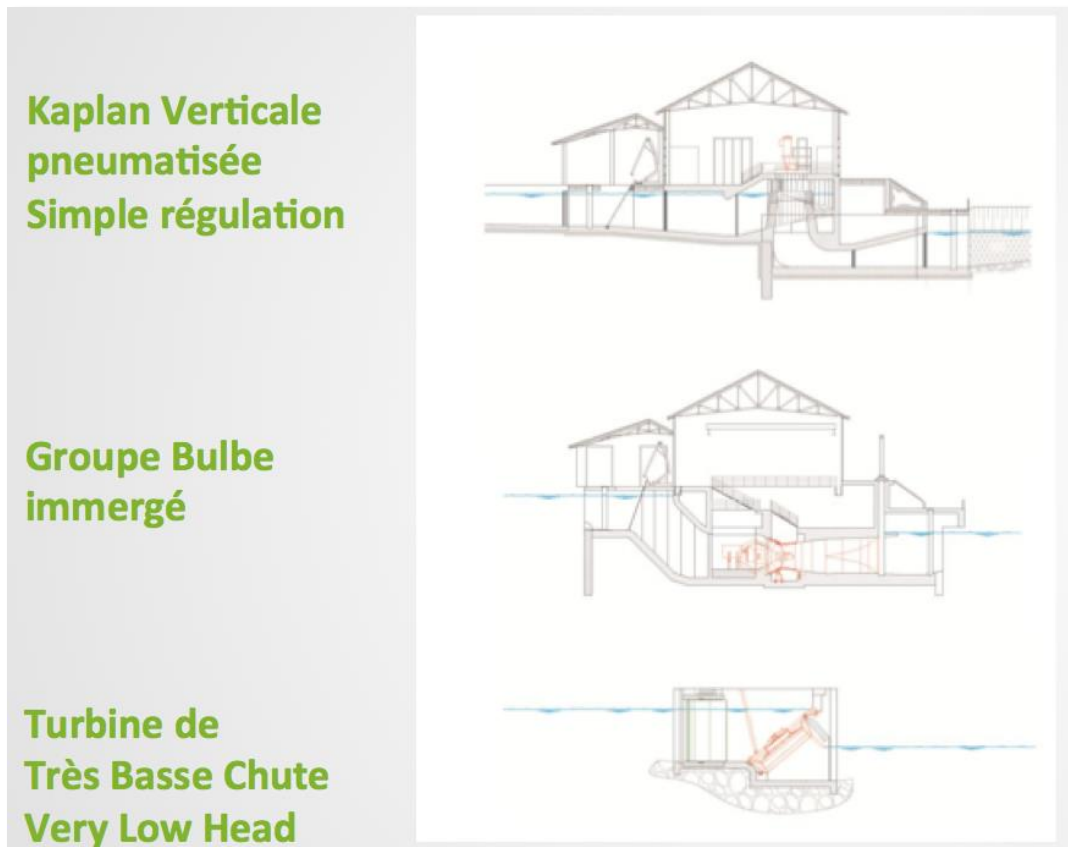
La turbine VLH est un nouveau groupe, un nouveau type de groupe générateur et dont le brevet initial a été déposé en 2004.

VLH ce sont les initiales des mots anglais *Very Low Head* qui veut dire très basse chute et donc c'est une machine qui a été destinée à l'équipement de basses chutes d'eau.

⇒ Par basses chutes d'eau on entend disons des chutes inférieures à 4 mètres.

Ce concept de machine, à quoi il est dû ? Il est destiné à permettre l'équipement de seuils existants qui constituent un des derniers marchés disponibles pour développer les énergies renouvelables d'origine hydraulique dans les pays développés.

- En Europe et en Amérique du Nord, ce sont donc des seuils qui ont été construits au siècle dernier, voire au siècle précédent le siècle dernier, qui existent et qui ont été utilisés dans des anciennes industries comme les papeteries ou les tanneries et qui aujourd'hui sont plus ou moins à l'abandon.
- Donc l'idée de la VLH, ça a été de construire une nouvelle machine qui permet d'optimiser le coût global de l'installation.
- ⇒ Parce que qui dit basse chute, dit faible puissance et donc des productions relativement modestes.
- ⇒ Et donc de rechercher un coût global : turbine plus génie civil optimisés autant que faire se peut.
- Par ailleurs, on a cherché dans la machine, dans le turbogénérateur VLH à intégrer toutes les fonctions d'une centrale, y compris la protection par les grilles, le système de nettoyage des grilles, qui en fait un bloc complet qui intègre les fonctions d'une centrale globale traditionnelle.
- Sur la diapositive que vous avez maintenant sous les yeux, on compare les trois solutions connues aujourd'hui pour équiper ces basses chutes.

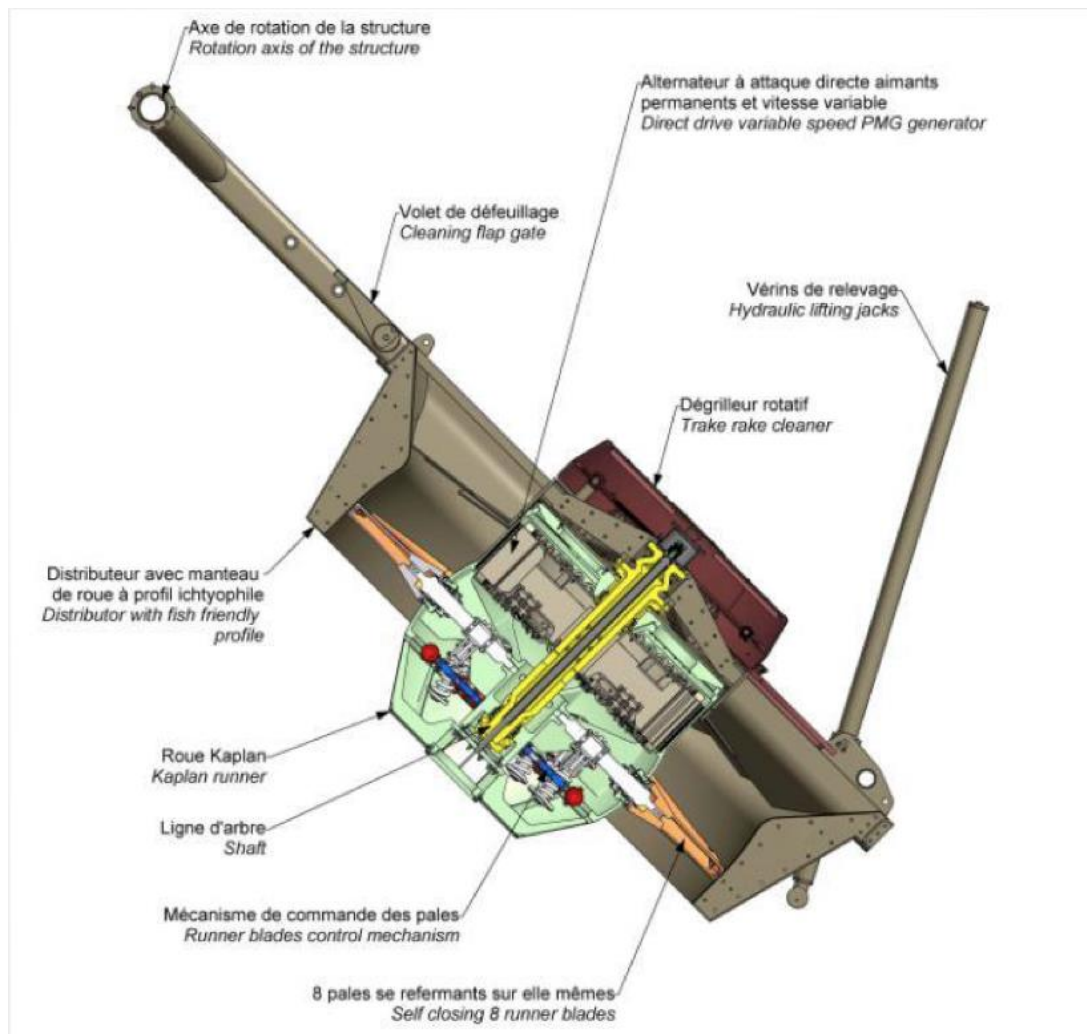


**Kaplan Verticale
pneumatisée
Simple régulation**

**Groupe Bulbe
immergé**

**Turbine de
Très Basse Chute
Very Low Head**

- ⇒ Ces trois schémas ont été faits avec la même hauteur de chute et pour le même débit d'équipement.
- Le premier croquis dans la partie supérieure, c'est la solution traditionnelle de la turbine Kaplan, pour laquelle on a fait des équipements disons avant la Deuxième guerre mondiale.
 - Après la Deuxième guerre mondiale, on voit une solution évolutive de la turbine Kaplan mais le cœur de machine reste le même : c'est toujours une roue avec des pales mobiles, ce sont des groupes bulbes.
 - On a gagné un peu sur les superstructures mais l'ensemble de la centrale reste relativement important et vous avez (je précise, toujours à la même échelle, pour les mêmes puissances), en bas le croquis qui vous montre les VLH, la turbine VLH elle-même avec la structure de génie civil qui y est associée.
 - On voit clairement que les structures des VLH sont nettement plus petites qu'une solution classique, les économies sont de l'ordre de 50 à 70 % sur le génie civil.
- ⇒ Ce qui fait que malgré un coût de turbine plus important parce que le diamètre de roue de la VLH est plus important qu'une solution classique, le coût global, lui, est inférieur.
- On voit sur cette autre diapositive comment est construite la turbine VLH, on voit bien le concept de blocs qui intègrent l'ensemble des fonctions d'une centrale.



- ⇒ La partie rotative - qui est en vert pâle -, tourne autour d'un stator de générateur qui est placé à l'intérieur de ce qu'on peut appeler aussi un bulbe.
- ⇒ On voit coloré en orange les pales de la machine.
- ⇒ L'eau s'écoule depuis la droite vers la gauche du croquis.
- ⇒ Et on voit également que ce bloc est articulé dans sa partie supérieure, il dispose de vérins de relevage et on peut donc l'extraire complètement de l'eau.
- Les niveaux d'eau ne sont pas représentés mais le niveau amont dans la partie droite arrive à fleur du volet de défeuillage.
- ⇒ Cette machine est donc totalement noyée, elle est sous l'eau et ça apporte des avantages assez intéressants sur le plan de l'environnement puisque l'impact visuel est tout à fait réduit (on verra des exemples toute à l'heure), et également, l'impact sonore puisque cette machine est en prise directe sur son alternateur, il n'y a pas de système de multiplication de vitesse qui sont toujours bruyants et cela permet donc d'assurer un maximum de possibilités d'insertion dans des sites sensibles, par exemple à proximité d'habitations.

- La machine est également caractérisée par une roue de très grand diamètre puisque les diamètres de roues s'échelonnent de 3 m 15 à 5 m et ce grand diamètre a apporté un avantage très différent par rapport aux machines traditionnelles.
- ⇒ C'est-à-dire que la vitesse de traversée de l'eau dans la machine est beaucoup plus faible et cela a permis de diminuer l'impact de cette machine vis-à-vis de la faune piscicole (mais on abordera ce problème en détails toute à l'heure).

Voilà un exemple d'installation :

- Sur la partie gauche, en haut, vous voyez la machine avec son distributeur qui est à moitié ouvert. On voit très bien les pales de cette machine.
- Sur la partie droite on voit la machine sans eau, donc elle est dans un conduit qui est fait simplement par deux murs et un radier de béton.
- Et les deux photos de la partie inférieure vous montrent la machine en eau.
- ⇒ Alors depuis l'aval, sur la partie de gauche, on voit les deux turbines et depuis l'amont sur la partie de droite, là, la machine est complètement noyée sous l'eau.

Vous voyez un bâtiment, c'est un ancien bâtiment qui est à côté des deux machines.

- ⇒ Ce bâtiment contient les équipements électriques, le contrôle commande et les systèmes d'évacuation de l'énergie.

Voici maintenant l'atelier dans lequel sont construites les turbines VLH. Il est situé dans le village de la Cavalerie sur le causse du Larzac, à proximité de la ville de Millau.

- Donc cet atelier est équipé avec des ponts roulants assez importants puisqu'on a à faire à des grosses machines.
- ⇒ Les plus grosses machines, qui font 5 mètres de diamètre, pèsent plus de 30 tonnes.



- L'atelier maintenant a une capacité de l'ordre d'une vingtaine à vingt-cinq machines par an.
- Il y a 30 personnes qui y travaillent.

Et c'est le moment de parler des caractéristiques, de la gamme des VLH.

- Donc ces machines sont prévues pour des chutes, je l'ai dit toute à l'heure, de l'ordre d'un maximum de 4 mètres avec un marché cible entre 2 et 3 mètres.
- Les débits s'échelonnent de 10 à 30m³/s suivant la taille des machines ;
- Et les puissances sont de 100 à 500 kW, ce qui permet l'équipement de petites centrales hydroélectriques.

Maintenant, nous allons parler des conséquences, des caractéristiques typiques de la VLH, c'est-à-dire :

- grand diamètre de roue ;
- faible vitesse de rotation ;
- et faible vitesse de l'eau quand elle passe au travers de la roue de la turbine.

⇒ Ce qui a conduit à s'interroger sur l'impact de ces machines sur les poissons.

Cette machine, on l'a appelé ichtyophile, ichtyophile ça veut dire « ami des poissons », parce qu'elle a été l'objet d'un grand nombre de tests qui ont été faits en relation avec les services officiels de la pêche français, l'ONEMA.

- Ces tests ont consisté à faire passer au travers de la machine un certain nombre d'espèces et tout particulièrement des anguilles - puisqu'il y a un problème actuellement en France avec le stock d'anguilles -.
- Et dans le cadre de la dévalaison de ces poissons et de ces anguilles, on a testé l'impact de la traversée dans la turbine.

⇒ Et vous voyez sur la photo de droite les systèmes d'injections qui ont permis de forcer le poisson pour traverser la machine.

⇒ Là, on voit sur la photo, la machine est sans eau, on voit les deux tubes d'injections et dans ces tubes on a fait passer par exemple des anguilles de plus d'un mètre de longueur et les essais se sont déroulés sur plusieurs années avec des truites, des saumons, des truites de mer etc.

- Le résultat de tous ces tests, et bien c'est un agrément de l'ONEMA pour décrire la machine VLH comme étant vraiment réellement ichtyophile et l'autorisant à être installée sans grille de protection à l'amont, ce qui n'est pas le cas des autres types de turbine où si on

veut protéger la dévalaison et empêcher la traversée dans la roue de la turbine, on est obligés de mettre des grilles avec des barreaux très faiblement espacés, avec des contraintes assez importantes au niveau de l'exploitation car ces grilles sont de véritables filtres et elles ont une tendance forte au colmatage.

Voici maintenant un exemple, un autre exemple d'installation.

- Là, il s'agit des premiers équipements des turbines VLH. D'ailleurs certainement la première commande commerciale de cette turbine et ce site, c'est le site de La Roche.
- Il fait partie d'une chaîne de seize sites sur la rivière Mayenne, qui sont exploités par la société SHEMA, qui est la filiale d'EDF qui est responsable des petites centrales hydroélectriques du groupe EDF.
- Ces seize sites comportaient d'anciennes turbines qui avaient été installées dans les années 1960.
- ⇒ C'était des turbines bulbe d'ailleurs comme celles qu'on a vues au début de l'exposé.
- Et donc ces sites ont servi de prototypes commerciaux pour installer ces machines.
- ⇒ Donc seize machines ont été installées et vous voyez sur la partie droite, la photo supérieure, on voit le seuil du barrage et on voit l'aval de la turbine avec une lame d'eau déversante sur la machine.
- ⇒ Donc la machine est quasiment invisible, elle est sous l'eau, elle est bien évidemment totalement inaudible et dans la partie gauche, on voit une espèce de bâti en maçonnerie, c'était le bâti des roues de l'ancien moulin et ce local a servi à installer les armoires électriques, le système de contrôle commandes et les systèmes d'évacuation de l'énergie.
- En bas, on a des photos qui ont permis de voir un travail architectural sur le bâtiment du moulin lui-même.

La turbine VLH est donc une machine nouvelle, qui répond à des besoins nouveaux, elle a devant elle un avenir certain.

Soixante-dix machines VLH ont actuellement été commandées. Il y en plus de quarante qui sont en fonctionnement et aujourd'hui s'ouvre maintenant le marché de l'exportation pour ces machines.

- ⇒ Alors l'exportation à courte distance puisque des sites sont maintenant fonctionnels dans les pays limitrophes, en Italie, en Allemagne, en Belgique par exemple mais nous avons également maintenant des commandes de ces machines - elles sont en cours de construction -, pour la Croatie et également en Amérique du Nord pour le Canada.