



La Moselle - voie d'eau

Infrastructures

- L'aménagement de la Moselle en infrastructure de transport
- Le fonctionnement des ouvrages
- Les principes hydrauliques



Page de couverture:
En haut: Le barrage-écluse de Stadtbredimus-Palzem
En bas: Le barrage-écluse de Grevenmacher-Wellen



La Moselle - voie d'eau Infrastructures

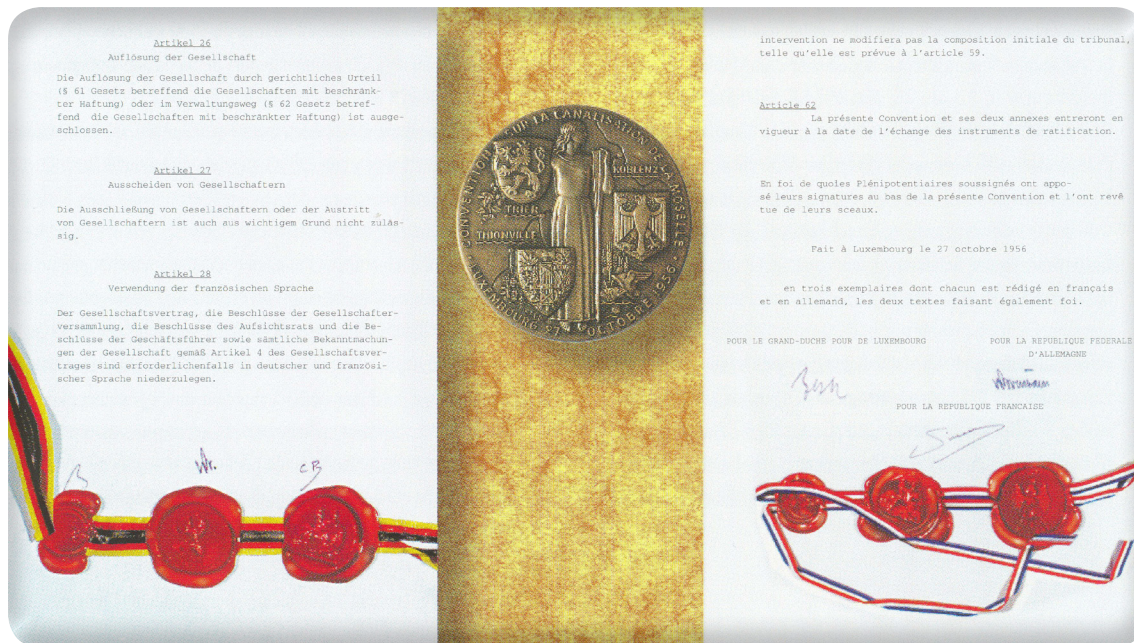
Sommaire

	page		page
La conception générale de l'aménagement de la Moselle	4	Le barrage	23
Profil en long de la Moselle navigable	8	Fonctionnement d'une vanne secteur	24
Le chenal en rivière	10	Principes de régulation du niveau de retenue	27
La signalisation du chenal navigable	12	Conditions de déversement types	28
Les ouvrages de retenue	14	Situation 1: débit normal 20-165 m ³ /s	28
La conception générale des ouvrages	14	Situation 2: débit élevé 400 m ³ /s	29
Les écluses	15	Situation 3: débit > 800 m ³ /s	30
Barrage-écluse de Grevenmacher-Wellen	16	Situation 4: débit > 1350 m ³ /s	30
		Les caractéristiques types des aménagements	33

La conception générale de l'aménagement de la Moselle

Par convention signée le 27 octobre 1956 à Luxembourg, les trois Etats riverains de la Moselle, à savoir la République Française, la République Fédérale d'Allemagne et le Grand-Duché de Luxembourg se sont engagés à aménager la Moselle en voie navigable à grand gabarit de manière

à assurer la circulation de bateaux d'une capacité unitaire de 1500 tonnes et d'un tirant d'eau de 2,50 m. Mais, suite au développement des techniques de navigation certaines adaptations ont ultérieurement été décidées.



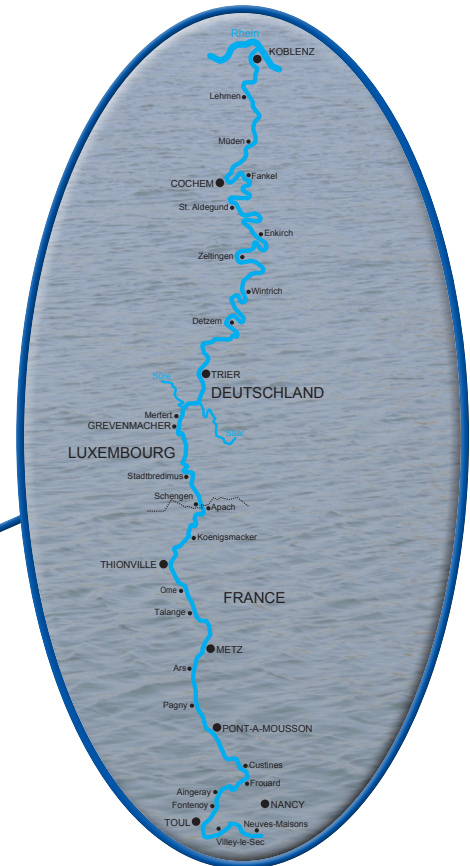
Convention de la Moselle signée le 27 octobre 1956 à Luxembourg

En définitive l'aménagement a donc été conçu de manière à pouvoir offrir une profondeur de chenal de 2,70 m afin de rendre possible la circulation des grands convois poussés de 172 x 11,45 m d'une capacité de charge totale de 3500 tonnes.

Le développement fulgurant du trafic sur cette nouvelle artère de transport et l'évolution structurelle de la flotte opérant sur la Moselle ont, dans la suite, imposé des adaptations infras-



Le réseau des voies de navigation intérieure de l'Europe du Nord-Ouest



La section de la Moselle aménagée en infrastructure de transport

structurelles. Pour permettre aux unités modernes d'utiliser la totalité de leur capacité de chargement et d'améliorer ainsi leur rentabilité économique, respectivement en vue d'augmenter la capacité d'écoulement de la voie d'eau, des dragages locaux réalisés entre 1996 et 1999. ont porté la profondeur du chenal à 3 m. Cette mesure a permis une

augmentation de la capacité de charge de 20% par bateau.

Ainsi, entre le Rhin et son terminus provisoire à Neuves-Maisons, soit sur une longueur totale de 392,45 km et un dénivelé de 160,53 m, la Moselle est aujourd'hui aménagée en voie d'eau du gabarit européen Vb.



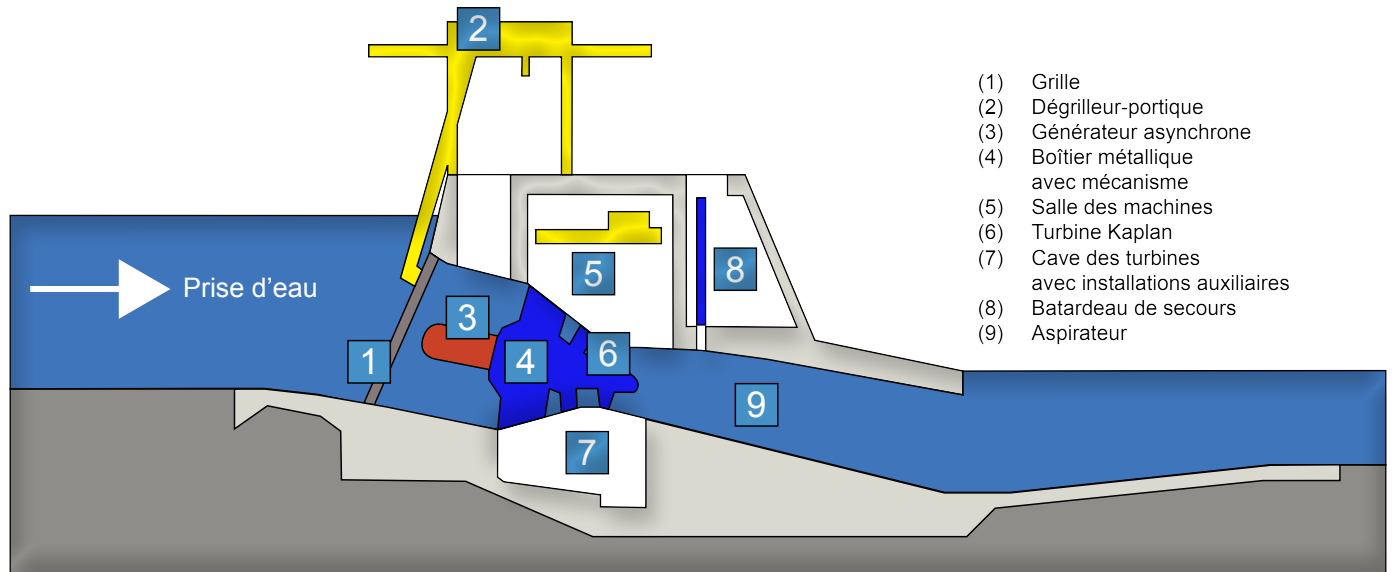
La fonction transport (transport de pales d'éoliennes) n'empêche pas la valorisation touristique de la voie d'eau

Cette différence de niveau est rachetée moyennant 28 ouvrages de retenue, dont 10 sont situés dans le secteur allemand, 2 dans le secteur germano-luxembourgeois, 1 sur la section franco-luxembourgeoise et 15 dans le secteur français de la Moselle.

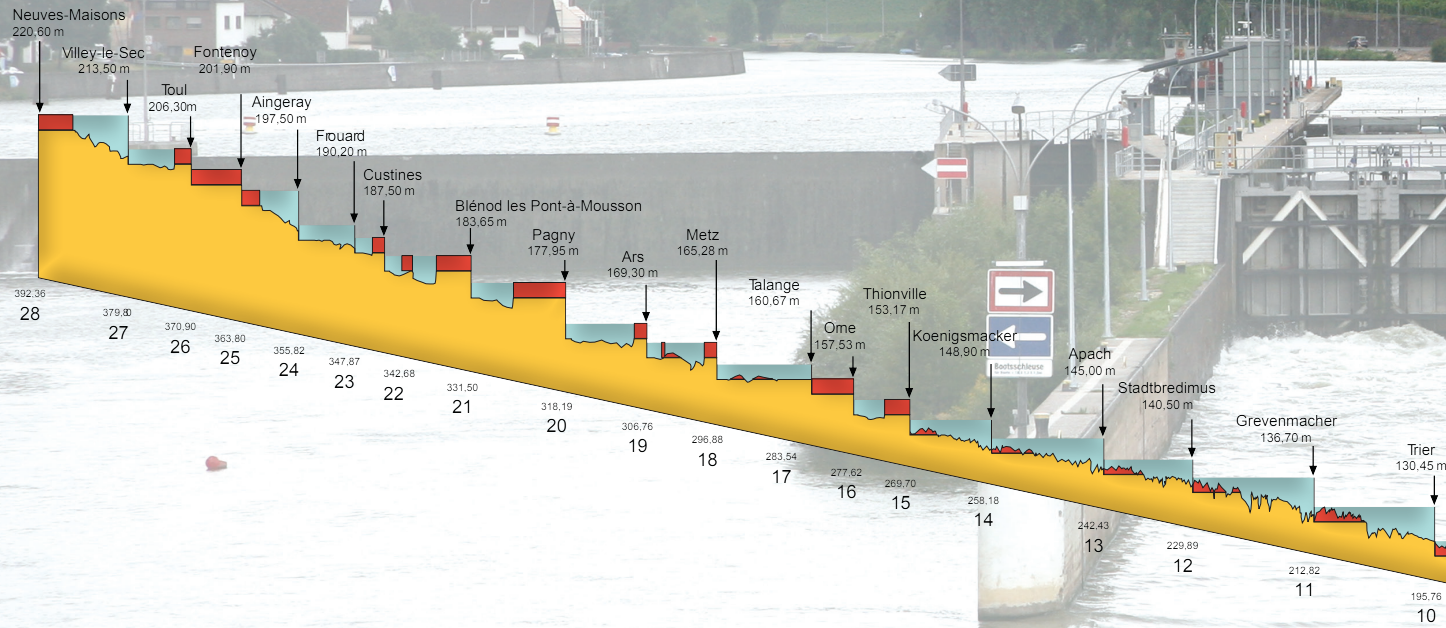
Les projets d'aménagement ont tenu compte, dans la mesure du possible, de l'harmonie des sites, des besoins



de production d'énergie, de la pêche, de l'hydrologie et du tourisme.

L'aménagement de la Moselle en voie d'eau a en outre permis d'intégrer aux ouvrages hydrauliques une usine hydroélectrique. Au-delà des retombées sur le plan du transport, l'aménagement a donc créé un potentiel de production d'énergie douce et durable.



Coupe de la centrale électrique à Gravenmacher-Wellen



- 392.36 point kilométrique de l'écluse
- 28 numéro de l'écluse
-  dragage et dérivations
-  plafond du chenal
- ↓ niveau de retenue

Profil en long de la Moselle navigable



Detzem
123.20 m

Wintrich
114.20 m

Zeltingen
106.70 m

Enkirch
100.70 m

St Aldegund
93.20 m

Fankel
86.20 m

Müden
79.20 m

Lehmen
72.70 m

Koblenz
65.25 m

Rhin

166.18

9

123.85

8

141.48

7

102.97

6

78.30

5

59.38

4

37.10

3

20.83

2

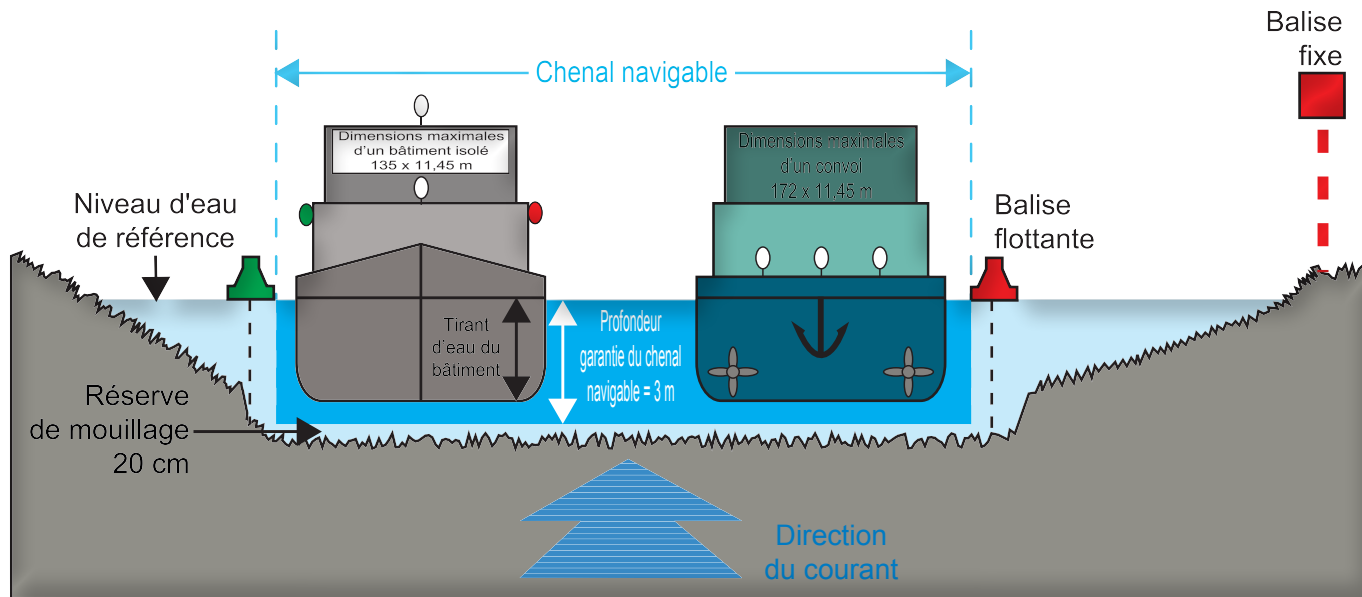
1.96

1

Le chenal en rivière

La profondeur d'aménagement de la Moselle est fixée à 3,20 m. Abstraction faite des situations d'étiage, l'administration garantit aux utilisateurs de la voie d'eau une profondeur minimale de 3,00 m dans le chenal navigable, une réserve de mouillage minimale de 20 cm étant indispensable.

La navigabilité de la Moselle est le résultat combiné de l'intervention des barrages et de l'aménagement d'un chenal généralement creusé dans les sections amont des biefs. La surélévation du plan d'eau de chaque bief étant limitée par les agglomérations riveraines et pour assurer une profondeur d'eau de 3,00 m sur toute la longueur du bief, il a été nécessaire de creuser dans le lit de la rivière un chenal artificiel sur 5 à 6 km. Le croquis sur cette page



Profil en travers type de la Moselle

illustre le principe adopté pour assurer la navigabilité de la Moselle durant toute l'année.

Dans ses parties droites, le chenal navigable a une largeur de 40 m au plafond et il se trouve élargi dans les courbes. La pente subaquatique des berges a généralement 4 m de

base pour 1 m de hauteur.

Le tirant d'air minimal du chenal navigable au droit des ponts est de 6 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux navigables.



La signalisation du chenal navigable

L'aménagement étant limité à la réalisation d'un chenal, la Moselle n'est, à maints endroits, pas navigable sur toute la largeur du plan d'eau. Force a donc été de mettre en place un balisage signalant aux bateliers les limites du chenal navigable.



Le balisage des limites du chenal dans la rivière est réalisé moyennant des balises flottantes en forme de bouées cylindriques ancrées à 5 m environ hors des limites qu'elles indiquent. Dans les secteurs où la position du chenal n'est pas évidente et sur tous les points dangereux, le côté droit de celui-ci est marqué par des bouées de couleur rouge et la limite gauche par des bouées vertes.

Les berges submergées en cas de débit plus élevé sont signalées par des balises fixes placées sur la crête de berge. Ces balises consistent en des poteaux surmontés de voyants rouges sur la berge droite et de couleur verte sur la berge gauche.



En présence d'un pont à risque, les passes sont munis de systèmes d'aide à la navigation sous forme d'une signalisation particulière. Les signaux peuvent indiquer les limites de navigabilité, des interdictions ou encore des recommandations concernant le passage des ouvertures des ponts.

En vue d'améliorer la représentation des ponts sur les écrans-radars, les piles des ponts se trouvent généralement équipées de réflecteurs-radars.



Le pont frontalier de Grevenmacher



L'avant-port aval du barrage-écluse de Grevenmacher-Wellen

Les ouvrages de retenue

La conception générale des ouvrages

Un ouvrage de retenue de la section germano-luxembourgeoise, parfois improprement désigné par le terme «d'Schlëiss», comporte en fait plusieurs éléments fonctionnels, dont l'écluse est l'élément «navigation», qui permet aux bateaux de franchir la différence de niveau.

Sur le panorama ci-dessous on distingue en partant du côté gauche, l'usine hydroélectrique, l'échelle à poissons, le barrage comportant deux vannes mobiles, l'écluse à nacelles,

une rigole pour les canoës-kayaks, une rampe de portage, et enfin l'écluse à grand gabarit qui prend son appui sur la rive gauche de la Moselle.

Sur les vues d'ensemble des pages suivantes, on peut distinguer l'implantation des différents éléments de l'ouvrage de Grevenmacher, un barrage-écluse type de la Moselle.

Pour ce qui est des ouvrages de la Moselle française et notamment de l'ouvrage de retenue d'Apach-Schengen, il reste à préciser que leur conception générale présente des particularités par rapport aux ouvrages en aval.



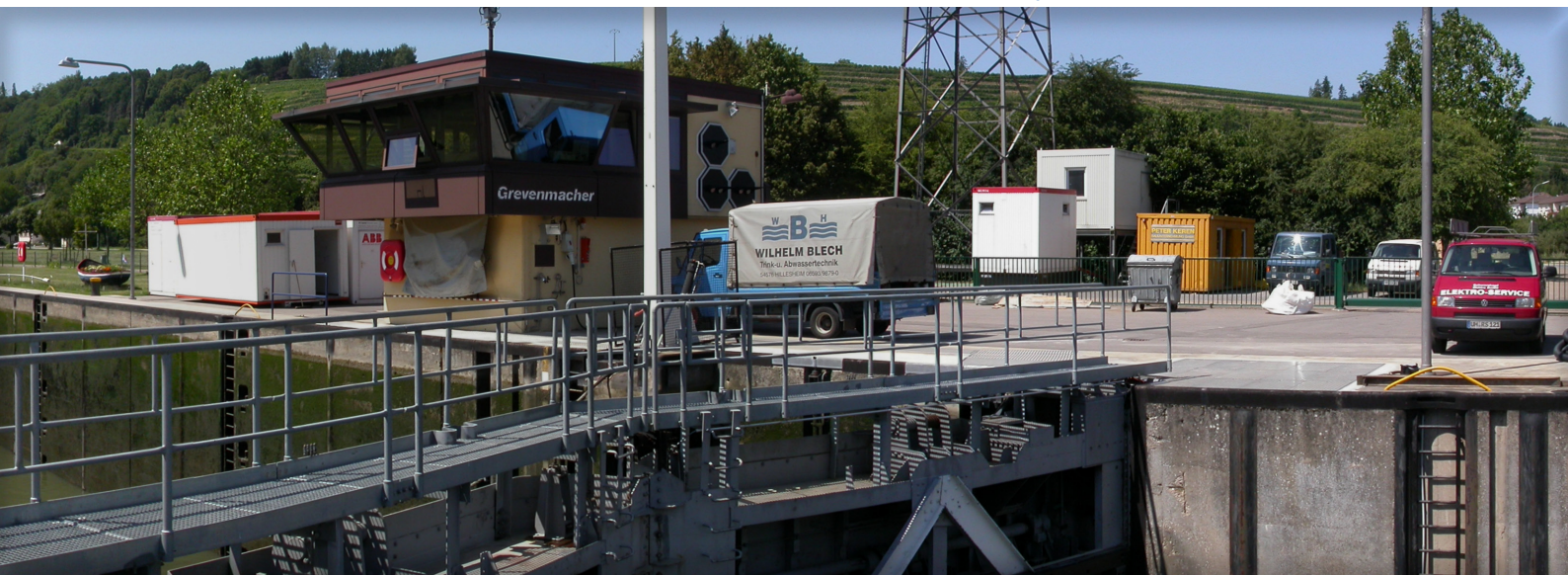
Les écluses

Accolées aux barrages, les écluses permettent aux bateaux de franchir la différence de niveau créée par le barrage.

Une écluse peut être définie comme ouvrage de navigation doté en amont et en aval de portes délimitant un bassin à niveau d'eau variable dénommé sas. La manoeuvre alternative des portes, couplée avec l'action d'un système de remplissage et de vidange d'eau, permet de faire monter ou descendre les bateaux d'un bief à l'autre.

L'écluse à grand gabarit a un sas d'une longueur utile de 170 m (plus une marge de sécurité pour la protection des portes) et une largeur utile de 12 m. La profondeur d'eau minimale dans le sas est de 3,50 m. L'écluse peut donc, tout au plus, accueillir à la fois 2 grands automoteurs rhénans ou un convoi poussé comportant deux barges d'une capacité totale de 3500 tonnes. Le volume d'eau nécessaire pour un sasement est de 9000 m³ pour l'écluse de Stadtbredimus. Du fait de la plus grande hauteur de chute, ce volume se chiffre à 14000 m³ pour l'écluse de Grevenmacher.

Le barrage-écluse de Grevenmacher-Wellen



< Remich

Avant-port amont

Porte amont

Ecluse de



Ecluse à nacelles
(18 x 3,3 x 1,5 m)

Niveau de retenue amont 136,70 m

Barrage-écluse de Grevenmacher-Wellen

Grevenmacher >

Aire d'info

Poste de commande

e navigation (170 x 12 x 3,5 m)

Avant-port aval

Porte aval

Rigole pour canoës et kayaks



Niveau aval 130,45 m

Barrage (2 x 40 m)

Echelle à poissons

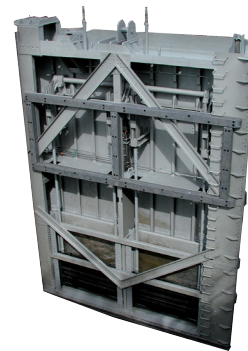
Usine hydro-électrique



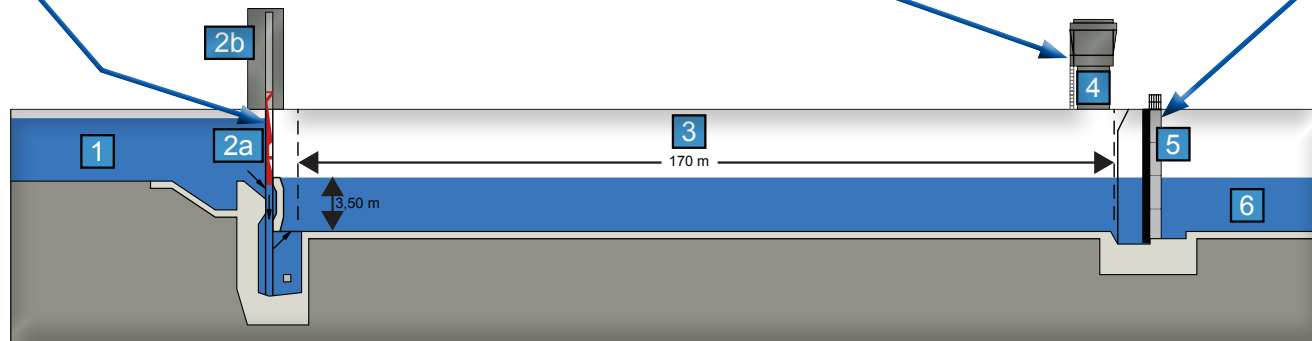
La porte amont



Le poste de commande



Un vantail de la porte aval



- (1) Avant-port amont
- (2a) Porte amont guillotine
- (2b) Local de manoeuvre de la porte amont
- (3) Sas de l'écluse à grand gabarit (170 x 12 x 3,5 m)

- (4) Poste de commande
- (5) Porte aval busquée
- (6) Avant-port aval

Coupe de l'écluse à grand gabarit

La porte amont est métallique du type guillotine. Elle est actionnée par un dispositif de moteurs électriques synchronisés situés de chaque côté. Pour faciliter la manoeuvre de la porte, son poids de 26 tonnes se trouve équilibré par deux contrepoids qui assurent une compensation jusqu'à concurrence d'un reliquat de poids de 5,4 tonnes.

La porte aval est une porte busquée à deux vantaux actionnés moyennant deux vérins oléo-hydrauliques, commandés à partir d'une station hydraulique se trouvant au sous-sol du poste central de commande.

Les ventelles de vidange du sas de l'écluse sont situées dans chaque vantail de la porte aval. Le remplissage du sas, lui, est réalisé à travers l'ouverture libérée en soulevant le corps entier de la porte amont.

Lors d'un éclusage vers l'amont, la porte amont est en position fermée et la porte aval en position ouverte. Le bateau ayant pénétré dans le sas de l'écluse, l'éclusage vers l'amont sera déclenché par la fermeture de la porte aval. Après fermeture complète de cette dernière, la porte amont sera levée jusqu'à une hauteur de 1,20 m environ au-dessus du seuil amont, libérant ainsi une ouverture pour le remplissage progressif du sas de l'écluse.

Pendant l'opération de remplissage, l'énergie cinétique de l'eau est dissipée au moyen d'un mur transversal en béton

de sorte que l'eau alimente le sas de l'écluse sans remous notables.

En suivant la variation du niveau d'eau du sas de l'écluse, le bateau s'élève doucement jusqu'au niveau du bief amont. Au moment où les niveaux de la retenue amont et du sas sont égalisés, la porte guillotine est abaissée pour libérer la sortie du sas et aller se loger dans le seuil de la tête amont. Dès que le bateau aura reçu à partir du poste de commande du barrage-écluse le feu vert de sortie, le bateau passera au-dessus de la porte pour poursuivre sa route vers l'amont.

En régime normal, l'éclusage d'un bateau dure 15 à 20 minutes. L'opération de sassement proprement dite prend environ huit minutes, alors que le temps restant est nécessaire pour les manoeuvres d'entrée, d'amarrage et de sortie de l'écluse.

La conception du mécanisme de commande de l'écluse ne nécessite la présence que d'un seul agent. Les diverses phases de l'éclusage s'enclenchent en règle générale automatiquement de sorte que l'éclusier-barragiste peut consacrer toute son attention à la surveillance des opérations de sassement et à la gestion du trafic. Toutes les phases d'éclusage peuvent évidemment être réalisées manuellement à partir du poste de commande de l'écluse. A noter que les restrictions du champ de vue direct de l'opérateur de l'écluse sont compensées par un système vidéo.

Afin de désengorger l'écluse principale et séparer le trafic gros-porteur du trafic sportif et de plaisance, une écluse à nacelles se trouve aménagée entre l'écluse à grand gabarit et le barrage. Son utilisation est gratuite.

L'écluse à nacelles offre des dimensions utiles de 18 x 3,30 x 1,50 m. Les têtes amont et aval sont équipées de portes busquées à van-



Entrée aval de l'écluse à nacelles

Rigole pour canoës et kayaks



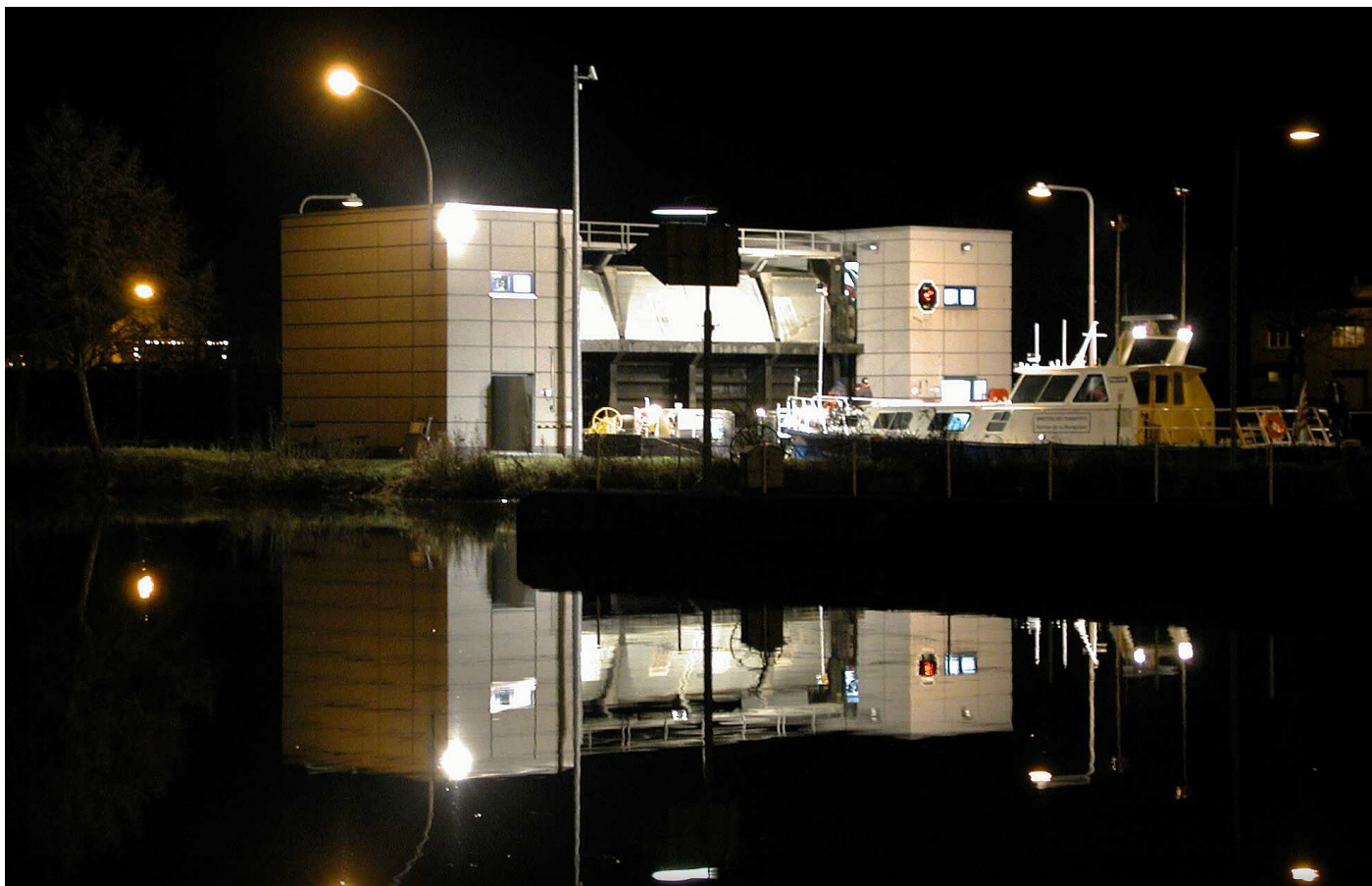
Accès à la rigole pour canoës et kayaks

Entrée amont de l'écluse à nacelles

tail unique. L'alimentation et la vidange de l'écluse à nacelles se font au moyen de ventelles situées dans les portes. Les portes sont actionnées, comme pour l'écluse de navigation, par des vérins oléo-hydrauliques. Les manoeuvres d'éclusage sont commandées sur place par les usagers eux-mêmes.



Le sas d'écluse mis à sec pour permettre des travaux de réfection



Afin de minimiser les effets sur le trafic, les activités de maintenance sont souvent effectuées de nuit

Le barrage

L'élément régulateur de l'ouvrage de retenue, le barrage, assure le maintien artificiel du plan d'eau amont à une cote déterminée en modulant le débit de la Moselle.



Les deux vannes du barrage de Grevenmacher-Wellen en position fermée

Il est indispensable à la navigation, mais il est également d'une grande utilité pour la production d'énergie hydroélectrique, la stabilisation des nappes phréatiques et le soutien des étiages. A Stadtbredimus-Palzem et à Grevenmacher-Wellen le barrage comporte 2 ouvertures de 40 m de largeur, équipées d'une vanne-secteur mobile.

Pour assurer le déversement, la vanne-secteur s'efface vers le bas et se loge dans une chambre aménagée dans le fond de la rivière. Le barrage d'Apach-Schengen, qui est d'une autre conception, a trois ouvertures de 27,50 m dont deux sont équipées de vannes segments et la troisième d'une vanne clapet.



Le barrage d'Apach-Schengen

La commande et le contrôle des installations mécaniques et électriques du barrage sont effectués à partir du poste central de commande de l'écluse.

Fonctionnement d'une vanne secteur

La manoeuvre des vannes-secteurs utilise l'énergie hydraulique résultant de la différence du niveau entre l'amont et l'aval du barrage. Ce principe permet d'actionner les vannes sans avoir recours à un apport énergétique extérieur. Le schéma ci-après donne la vue d'ensemble d'une vanne secteur.

Les deux faces amont et aval du corps de la vanne secteur forment, avec la fondation en béton, la chambre de vanne, c'est-à-dire un compartiment étanche rempli d'un volume d'eau déterminé. La quantité d'eau contenue dans la chambre de la vanne peut être augmentée ou diminuée à l'aide de conduits qui mettent, en fonction des besoins, le compartiment étanche en communication avec le niveau amont ou aval. L'admission d'eau de l'amont dans la chambre des vannes ainsi que son évacuation vers l'aval se fait moyennant des robinets-vannes à levée verticale.

Pour lever la vanne secteur, la chambre de la vanne est mise en communication avec le niveau amont, le conduit d'évacuation vers l'aval demeurant en position fermée. Pour abaisser la vanne, on opère dans le sens contraire, le conduit d'évacuation de la vanne étant dans ce cas ouvert vers l'aval. Dès lors qu'on néglige les interventions nécessaires pour compenser les fuites d'eau, on peut affirmer que dans la position d'équilibre de la vanne secteur toutes

les vannes se trouvent en position fermée.

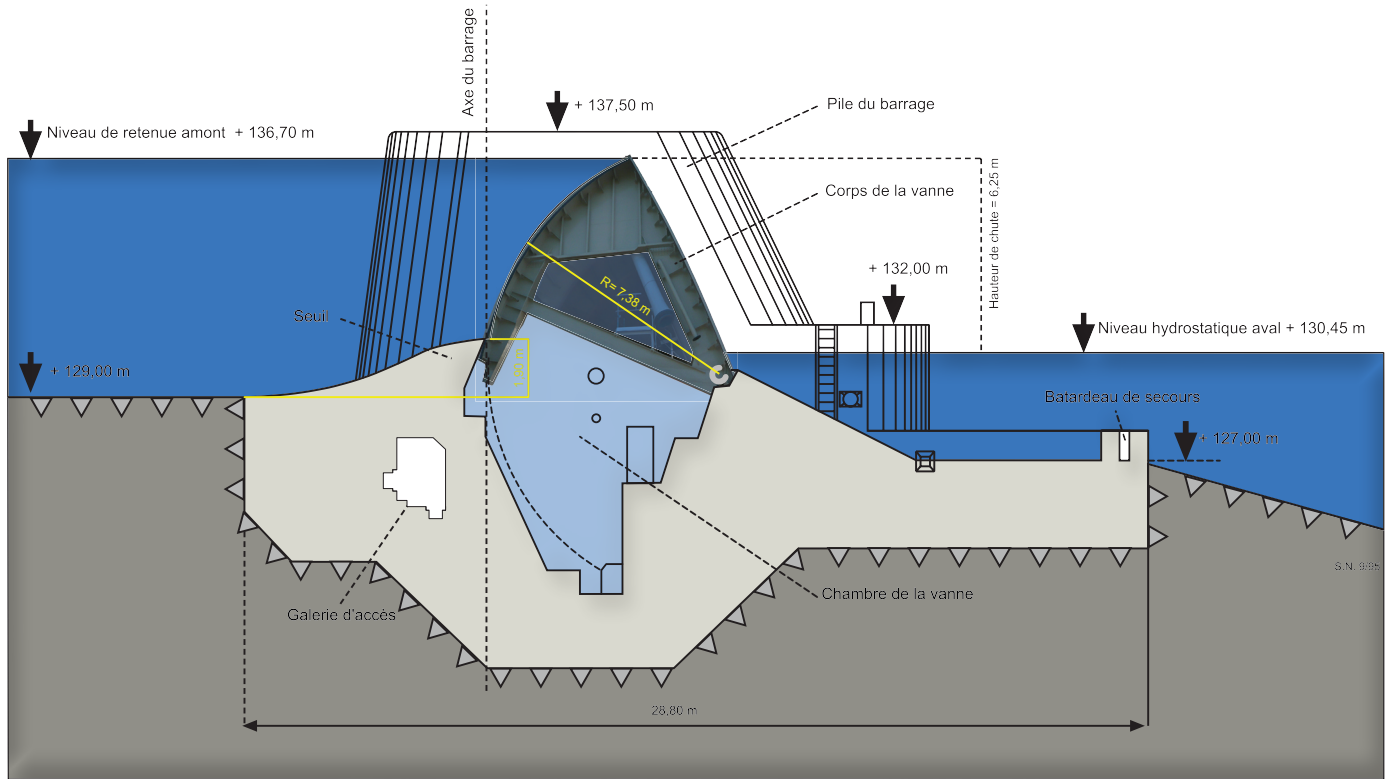
A remarquer que le système de régulation de la vanne secteur assure la compensation des pertes d'eau notamment dues à des imperfections d'étanchéité.



Vue du local souterrain de manoeuvre d'une vanne secteur



Évacuation du débit d'une crue mineure par le barrage, les deux vannes se trouvant en position semi-abaisée



Coupe du barrage à vanes - secteur de Grevenmacher



*La chambre de vanne mise à sec,
la vanne-secteur en position de révision*

Principes de régulation du niveau de retenue

Le barrage constitue le moyen de moduler en régime normal le débit de la Moselle avec le but de maintenir le niveau du bief à une cote de retenue prédéterminée.

La régulation du niveau amont se fait en adaptant l'ouverture d'écoulement du barrage aux variations du débit. L'ouverture d'écoulement est modifiée à l'aide des éléments mobiles du barrage, c'est-à-dire les vannes-secteur.

Le pivotement des vannes est normalement commandé par un système automatique. La régulation du positionnement des vannes suivant les paramètres hydrométriques permet de maintenir le niveau d'eau amont constant.

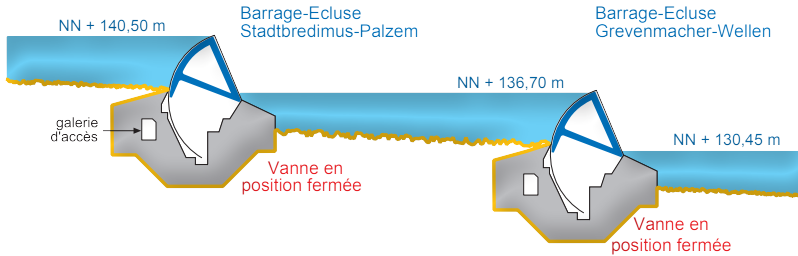
Les niveaux d'eau sont mesurés par des échelles limnimétriques installées en amont et en aval de chaque ouvrage de retenue.

Les échelles sont intégrées dans un réseau hydrométrique qui assure la télétransmission des données à tous les opérateurs intervenant dans la régulation des niveaux de retenue de la Moselle.

Le principe de régulation et les différents états de déversement par les vannes secteur sont visualisés sur les graphiques ci-après.

Conditions de déversement types

Situation 1: débit normal 20 - 165 m³/s



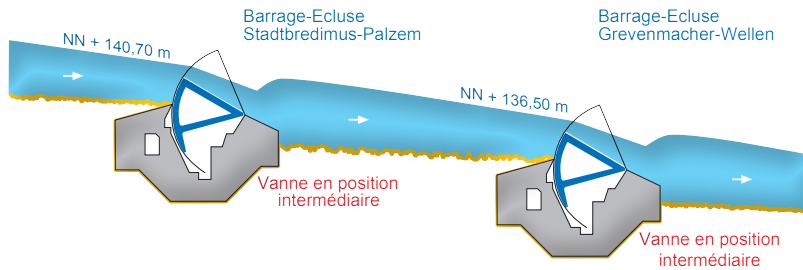
Situation 1: En régime normal les plans d'eau sont quasi horizontaux

En période de débits faibles, les vannes du barrage restent en position fermée. La régulation des niveaux est assurée par la centrale hydroélectrique aussi longtemps que le débit naturel de la Moselle est inférieur à la capacité d'absorption des turbines.

Pendant 200 à 250 jours le débit de la Moselle est en moyenne inférieur à ce cap, qui correspond à Stadtbredimus approximativement à 150 m³/s. Les vannes restent alors en position fermée et le débit de la Moselle peut en totalité être mis à profit pour la production d'énergie électrique.



Situation 2: débit élevé 400 m³/s



Situation 2: En situation de débit élevé les plans d'eau basculent progressivement

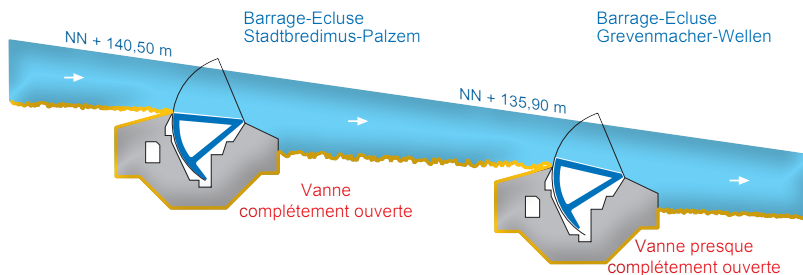
Lorsque le débit de la Moselle dépasse la capacité d'absorption des turbines, le surplus de débit est pris en charge par le barrage. Les vannes entrent alors en action et sont progressivement abaissées pour assurer le déversement du surplus de débit.

En cas de débits croissants, le niveau du bief est donc maintenu par abaissement progressif des vannes mobiles au même niveau. Étant affecté dans une moindre mesure par la position du barrage aval, le niveau aval de Stadtbredimus va donc monter selon les lois de l'hydraulique, c'est-à-dire proportionnellement au débit de la Moselle.



A noter que la diminution de la hauteur de chute disponible, qui va de pair avec ce phénomène, implique à un moment déterminé l'arrêt de production de la centrale électrique. Suite à l'arrêt de la centrale il est évident que le barrage doit évacuer le surplus du débit auparavant absorbé par les turbines de la centrale électrique.

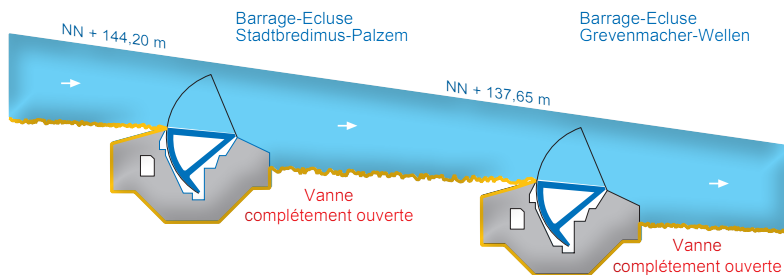
Situation 3: débit > 800 m³/s



Situation 3: En situation de crue l'effet des barrages s'efface

Le débit de la Moselle progresse et atteint 800 m³/s. La navigation sur la Moselle est arrêtée, les vannes sont abaissées libérant au maximum les ouvertures du barrage. A partir de ce moment une régulation du niveau d'eau ne peut plus être assurée et la rivière retrouve à peu près ses conditions d'écoulement naturelles. L'évacuation du débit d'écoulement de la Moselle se fait alors par le profil naturel de la rivière qui se trouve en fait majoré par la section imputable au creusement du chenal de navigation dans la partie supérieure du bief aval.

Situation 4: débit > 1350 m³/s



Situation 4: Lors d'une très forte crue les plans d'eau retrouvent la pente naturelle de la rivière

Les ouvrages se retrouvent confrontés à une crue majeure et sont progressivement submergées. En ces conditions le défi est de maintenir le fonctionnement des installations souterraines.

Lors de la crue de 1983 (fréquence de retour statistique = 50 ans) les ouvrages ont évacué un débit de 2240 m³/sec.

Au cours de la décrue, les vannes entrent de nouveau en fonction, mais en ordre inverse.

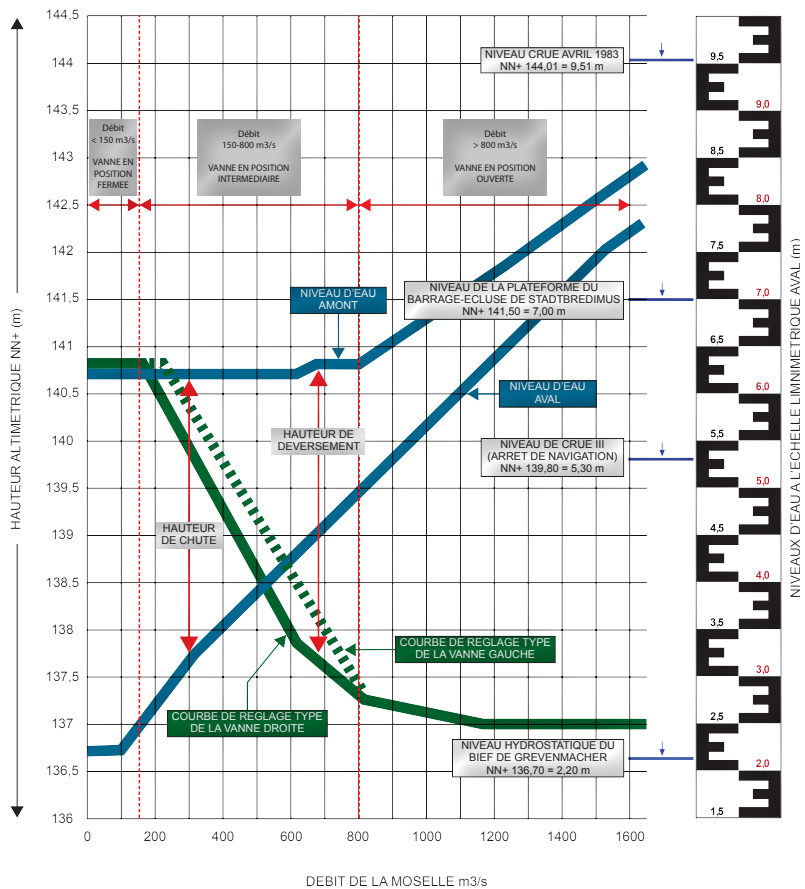
Endéans leur champ d'action, l'action des vannes assure donc une régulation efficace et discrète du plan d'eau de la retenue. Le résultat de cette performance des barrages est d'ailleurs trompeur, car l'idée même du risque d'inon-

dations a tendance à disparaître des esprits, notamment parce la régulation permet d'écarter efficacement les crues de moindre importance.



Le barrage-écluse de Stadtbredimus submergé lors d'un épisode de crue majeur

NIVEAUX D'EAU ET MOUVEMENTS DU BARRAGE DE STADTBREDIMUS



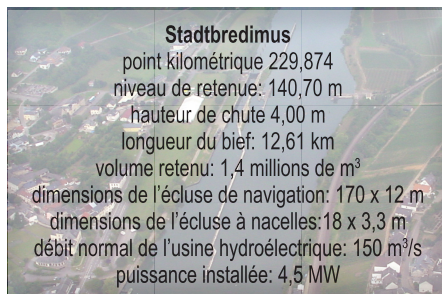
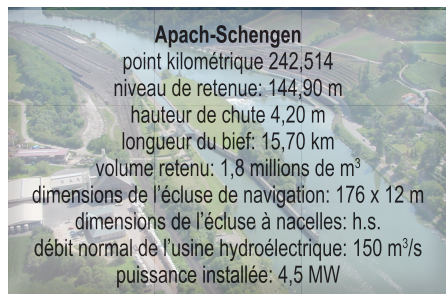
Caractéristiques types des aménagements

La Moselle longe le territoire luxembourgeois entre Schengen et Wasserbillig sur 37,42 km. A partir du p.k. 243,29, la démarcation avec la France est formée sur une distance de 1,08 km par la ligne du courant principal, alors que dans la section comprise entre les p.k. 242,21 et 205,87, soit sur 36,34 km, le cours d'eau de la Moselle est placé sous la souveraineté commune de l'Allemagne et du Grand-Duché de Luxembourg (territoire commun sous souveraineté

commune).

A noter que le kilométrage prend son origine au confluent de la Moselle à Coblenche.

Sur la section de rive luxembourgeoise, la différence de niveau s'élève au total à 14,45 m. Elle est rachetée au moyen de 3 ouvrages de retenue, à savoir:



L'aménagement a été réalisé dans le plus strict respect du paysage. La Moselle n'a pas été emprisonnée dans un carcan en béton, aucune de ses boucles caractéristiques n'a été supprimée ni rectifiée et les ouvrages d'art ont discrètement été intégrés dans le paysage sans en détruire l'harmonie.

De nos jours l'homme est tellement habitué à ces larges plans d'eau régulés à longueur d'année avec discrétion et

efficacité par des barrages pratiquement invisibles, qu'il en oublie facilement que le magnifique paysage mosellan est en quelque sorte un paysage artificiel.

Loin de nuire à la beauté du paysage, l'aménagement de la Moselle en voie d'eau a non seulement rehaussé le cadre de certains sites, mais a, d'une manière plus générale, accentué et pérennisé le charme de la vallée.



Vue sur Grevenmacher et son barrage-écluse

© SERVICE DE LA NAVIGATION 2011