



HAL
open science

Priorisation des opérations de modernisation des ouvrages de gestion hydraulique du canal de la Marne au Rhin-branche Est par l'analyse des besoins d'exploitation

Julien Augelmann

► To cite this version:

Julien Augelmann. Priorisation des opérations de modernisation des ouvrages de gestion hydraulique du canal de la Marne au Rhin-branche Est par l'analyse des besoins d'exploitation. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-03549682

HAL Id: dumas-03549682

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03549682v1>

Submitted on 31 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Priorisation des opérations de modernisation des ouvrages de gestion hydraulique du canal de la Marne au Rhin – branche Est par l'analyse des besoins d'exploitation



Agent manipulant une vantelle d'écluse

Julien AUGELMANN
Promotion Grand Lyon
2016-2019
Formation initiale

Mémoire de fin d'études



Poste de contrôle du Plan Incliné d'Arzwiller

Structure d'accueil : Voies navigables de France ; Direction territoriale de Strasbourg

Maître de Stage : M. Martin SALESSES

Référent école : M. Pascal Finaud-Guyot

Stage réalisé du 04 Mars au 30 Août 2019

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Martin SALESSES pour m'avoir accueilli au sein de l'unité EER à un moment crucial de ma formation. Malgré son emploi du temps, il a toujours pris le temps pour m'accompagner, répondre à mes questions et m'aider dans la rédaction de mon rapport. Grâce à lui j'ai pu en apprendre beaucoup sur les bases de la rédaction. Il a consacré un temps important à mon travail et je lui en suis très reconnaissant. Pour avoir suivi et accompagné mon travail de stage, je remercie Olivia RENARD et Olivier CHRISTOPHE qui ont pris le temps de définir un cadre clair et concis pour chacune des étapes de ce travail, C'est un trio qui a passé beaucoup de temps sur le suivi du stage et qui a été essentiel pour la réalisation de mon travail.

Je remercie également mes collègues de EER pour leur accueil et le temps qu'ils ont consacré pour mon travail. En particulier mes collègues de bureau, Monique ROBERJOT et Laurent MULLER pour l'ambiance chaleureuse, leurs connaissances et leur disponibilité.

Pour m'avoir reçu à de nombreuses reprises et permis de découvrir le travail d'exploitation du bief de partage des VOSGES, je tiens tout particulièrement à remercier Jérôme PFEIFFER, chef d'équipe à Gondrexange. Sa connaissance du secteur et sa sympathie ont grandement facilité mon travail d'inventaire sur les ouvrages de gestion hydraulique du secteur de Gondrexange. Pour les autres secteurs du CMR où j'ai pu être reçu, je remercie Gabriel FETTER (agent d'exploitation), Raymond SCHNEIDER (agent d'exploitation), Jean-Jacques BUECHE (chef de circonscription), Jacquy LUDWIG (agent d'exploitation) et Joël LECHNER (chef d'équipe) pour m'avoir accompagné dans leur quotidien et montré la réalité de l'exploitation d'un canal. Ils ont été très accueillants et ont su partager leur plaisir de travailler sur la voie d'eau.

Merci à Christophe AUMOITTE pour son aide précieuse concernant le travail de cartographie, mention également à Antoine BOZONNET pour ses conseils sur QGis.

Merci également à Pascal FINAUD-GUYOT pour m'avoir accompagné dans mon TFE.

Enfin un grand merci à Martin, Christine et ma mère pour m'avoir aidé à relire et corriger mon rapport.

Résumé

Voies Navigables de France est l'établissement public qui entretient et exploite la majeure partie du réseau français de voies navigables. Avec les problématiques actuelles de réduction d'effectifs dans la fonction publique, une véritable stratégie de modernisation a été mise en place à VNF afin de maintenir le même niveau de service et d'améliorer dans la mesure du possible les conditions de travail des agents. L'établissement s'investit donc dans la modernisation de ses ouvrages de navigation et de gestion hydraulique et la réforme des pratiques en exploitation afin d'améliorer les conditions de travail des agents. Au vu du nombre important d'ouvrages, une priorisation des opérations doit être effectuée. Dans le cadre de ce stage, les besoins en exploitation d'une de ces voies navigables ont été analysés avec une enquête sur le terrain et il a été proposé une méthode de classement des ouvrages en fonction de leur besoin en exploitation. Les résultats ont donc distingué une liste d'ouvrages prioritaires en termes d'investissements, qui est cohérente avec les projets d'investissements en cours ou envisagés. Après avoir validé cette méthode de priorisation, il a été proposé des aménagements, dont l'automatisation d'une vantelle d'écluse. Un chiffrage des aménagements a également été proposé.

Abstract

"Voies Navigables de France" or French Waterways is a public institution that maintains and operates an important network of waterways throughout the country. With the current issues of staff reduction in the public administration, a real modernization strategy has been implemented at VNF to maintain the same level of service and to improve the working conditions of the agents as much as possible. The establishment has therefore invested in the modernization of its hydraulic structures and the reform of operating practices to improve the working conditions of its manual workers. In the light of the amount of structures, a prioritization of the operations must be carried out. During my internship, the operational needs of one of these waterways were analyzed with a field survey and a method of classifying the structures according to their operational needs was proposed. The results have therefore distinguished a list of priority projects in terms of investments, a large part of which is the subject of investments with VNF. After having validated this method, it has been proposed facilities including the automation of a sluice gate. An estimate of the facilities has also been proposed.

Table des matières

.....	1
.....	1
Remerciements	2
Résumé.....	3
Abstract	3
Listes des figures	6
Listes des tables.....	7
Glossaire	8
Introduction.....	9
1. Contexte du stage et objectifs.....	11
1.1. Présentation de la structure d'accueil.....	11
1.1.1. Voies navigables de France	11
1.1.2. Direction territoriale de Strasbourg	12
1.2. Projets stratégiques de l'établissement dans lesquels s'inscrit ce stage	14
1.2.1. Modernisation des méthodes d'exploitation (MME).....	14
1.2.2. Chantier 1.2	15
1.3. Attentes du travail du stage pour VNF	15
1.4. Définition de la gestion hydraulique	16
2. Présentation du site d'étude.....	17
2.1. Fonctionnement hydraulique du canal de la Marne au Rhin-branche EST (CMR).....	18
2.1.1. Le bief de Partage des Vosges	18
2.1.2. Le plan incliné d'Arzviller.....	22
2.1.3. Le CMR-branche EST du bief 18 au bief 52 à Strasbourg	23
2.1.4. Les prises d'eau sur la Zorn	24
2.1.5. Les écluses	27
2.1.6. Le canal et les cours d'eau.....	29
2.2. Exploitation du canal	29
2.3. Documents disponibles	30
3. Application d'une méthode de classement pour distinguer les ouvrages prioritaires	32
3.1. Collecte des données.....	32
3.1.1. La phase d'enquête sur le terrain.....	32
3.1.2. L'analyse des archives	34
3.1.3. La mise en valeur des données.....	35
3.2. Construction de la méthode de classement.....	36

3.2.1.	La méthode NFDT ou Nombre-Fréquence-Durée-Trajet	37
3.2.2.	Le chantier 1.3	39
3.2.3.	Le risque attaché aux conditions de travail des agents.....	41
3.2.4.	Le classement final	44
4.	Résultats	45
4.1.	Résultats du classement	45
4.2	Discussion des résultats	45
4.2.1	Test de sensibilité	46
4.2.2.	Analyse des résultats du calcul du volume horaire NFDT	48
4.2.3.	Impact du temps de déplacements chez les agents.....	50
5.	Propositions.....	52
5.1.	Choix des ouvrages.....	52
5.2.	Choix des aménagements	52
5.2.1.	L'écluse 18	52
5.2.2.	L'usine élévatoire des eaux de Gondrexange.....	54
5.2.3.	Vanne de la prise d'eau 26	54
5.3.	Chiffrages.....	55
5.4	propositions managériales	57
	Conclusion	58
	Bibliographie.....	59
	Annexes	60

Listes des figures

FIGURE 1 CARTE DES DIRECTIONS TERRITORIALES DE VNF EN FRANCE	11
FIGURE 2 DIRECTION TERRITORIALE DE STRASBOURG (QUAI DE PARIS) (SOURCE THIERRY PUJOL).....	12
FIGURE 3 CARTE DE LA DTS, DOCUMENT INTERNE.....	13
FIGURE 4 CARTE DU CMR AVEC LES DIFFERENTES CIRCONSCRIPTIONS	17
FIGURE 5 SCHEMA DE L'ALIMENTATION EN EAU DU BIEF DE PARTAGE DES VOSGES.....	19
FIGURE 6 COUPE DU PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN SIPHON DE L'ETANG DE GONDREXANGE (DOCUMENT M STEPHANE MUNOS).....	20
FIGURE 7 ÉTANG DE GONDREXANGE ET SES CORNEES (SOURCE GÉOPORTAIL)	20
FIGURE 8 ÉTANG DU STOCK (SOURCE GÉOPORTAIL).....	21
FIGURE 9 SALLE DES MACHINES A GAUCHE ET BAC DU PLAN A DROITE (LE BIEF 18 EST EN CONTREBAS).....	23
FIGURE 10 SCHEMA DE L'ALIMENTATION EN EAU DU CANAL.....	23
FIGURE 11 SCHEMA DE L'ALIMENTATION EN EAU DU BIEF 18 (SOURCE HYDRATEC, 2014)	24
FIGURE 12 PRISE D'EAU 26 AVEC LE BARRAGE A CLAPET EN ARRIERE-PLAN ET LA VANNE A DROITE SUR LE SOL	25
FIGURE 13 ÉVOLUTION DE L'ALIMENTATION PAR LA PRISE D'EAU 26 SUR L'ANNEE 2014 (DONNEES ISSUS DE GAEC).....	26
FIGURE 14 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LA PRISE D'EAU 40	26
FIGURE 15 CHIFFRES SUR L'ALIMENTATION DU CMR-BRANCHE EST	27
FIGURE 16 SCHEMA DE LA VANTELLE MANUEL AMONT SUR UNE ECLUSE	28
FIGURE 17 DONNEES DE HAUTEUR D'EAU DANS LE BIEF 18 AU COURS DU MOIS DE JUIN (DONNEES ISSUES DU SERVEUR AGHYRE).....	29
FIGURE 18 FICHE OUVRAGE D'UNE VANNE DE L'ETANG DE GONDREXANGE SUR BDO (DOCUMENT BDO VNF). 31	
FIGURE 19 AGENT RAYMOND SCHNEIDER QUI INTERVIENT SUR L'AUTOMATE D'UN BARRAGE A CLAPETS	33
FIGURE 20 JOURNAL DES MANIPULATIONS DE VANTELLE UTILISE PAR LES AGENTS.....	34
FIGURE 21 HISTORIQUE D'EXPLOITATION DE LA STATION DE POMPAGE DIANE-CAPELLE	35
FIGURE 22 CARTE DE LA METHODE DU CHANTIER 1.3 SUR LA CARACTERISATION DE L'ENJEU LIE AU FRET	41
FIGURE 23 INTERIEUR DE L'USINE ELEVATOIRE DES EAUX DE GONDREXANGE ET SES TROIS POMPES	43
FIGURE 24 SCHEMA DE PRINCIPE DE LA METHODE DE CLASSEMENT DES OUVRAGES	44
FIGURE 25 TEMPS D'EXPLOITATION DES OUVRAGES GH PAR SECTEUR DU CMR	48
FIGURE 26 TRACTEUR AVEC BRAS MECANISE SPECIALISE DANS LA TONTE DE DIGUES	49
FIGURE 27 CHIFFRES SUR LES TEMPS D'EXPLOITATION ET TEMPS DE TRAJET DES AGENTS	50
FIGURE 28 A GAUCHE, UN IHM PRESENT DANS CHAQUE ECLUSE (L'AUTOMATE EST DERRIERE) ET A DROITE UN AGENT TRAVAILLE SUR LA VANTELLE DE L'ECLUSE 18	53
FIGURE 29 COURBE D'UN PHENOMENE AVEC HYSTERESIS, L'INERTIE FAIT QUE LE NIVEAU D'EAU NE VARIE PAS DE LA MEME MANIERE SI LA VANNE S'OUVRE OU SE FERME.....	53
FIGURE 30 CHEMIN DE HALAGE DANS LE SECTEUR DE GONDREXANGE	56

Listes des tables

TABLEAU 1 COTES ALTIMETRIQUE NGF DES ETANGS ET DU BIEF DE PARTAGE	22
TABLEAU 2 EFFECTIFS DES DIFFERENTS SECTEUR DU CMR	30
TABLEAU 3 EFFECTIFS DES EQUIPES SUR L'ITINERAIRE DU CMR-BRANCHE EST	32
TABLEAU 4 EXEMPLES DE DONNEES D'EXPLOITATION DE QUELQUES OUVRAGES DANS LA BASE DE DONNEES	36
TABLEAU 5 EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODE NFDI SUR LA VANNE SEGMENT	38
TABLEAU 6 ESTIMATION DES TEMPS MOYEN DE DEPLACEMENT ENTRE CHAQUE OUVRAGE	39
TABLEAU 7 TABLEAU DETAILLANT LES INDICES D'ETAT FONCTIONNEL POUVANT SERVIR A PRIORISER LES INTERVENTIONS DE MAINTENANCE	40
TABLEAU 8 MATRICE DE NOTATION DU RISQUE LIE AUX CONDITIONS DE TRAVAIL DES AGENTS.....	41
TABLEAU 9 EXEMPLES D'OUVRAGES ET LEUR NOTE DE GRAVITE D'APRES LA METHODOLOGIE DU CHANTIER 1.3, A DROITE LA NOTE CORRESPONDANT PARTICULIEREMENT AU CMR-BRANCHE EST	42
TABLEAU 10 CORRESPONDANCES ENTRE LA SITUATION PROFESSIONNELLE ET LA GRAVITE DU RISQUE	42
TABLEAU 11 SYNTHESE DES RESULTATS POUR LES 15 PREMIERS OUVRAGES	45
TABLEAU 12 ÉTAT DES LIEUX DES OUVRAGES PRIORITAIRES	46
TABLEAU 13 TEST DE SENSIBILITE REALISE SUR LES OUVRAGES EN TETE DE CLASSEMENT	47
TABLEAU 14 CHIFFRAGE ESTIMATIF DES TRAVAUX SUR L'ECLUSE 18 ET LA PRISE D'EAU 26	56
TABLEAU 15 CHIFFRAGE ESTIMATIF DES TRAVAUX POUR LA STATION DE POMPAGE	56

Glossaire

Aqueduc de contournement : ouvrage correspondant à un seuil de quelques mètres de longueur, qui permet d'évacuer le surplus d'eau du bief amont directement vers le bief aval en court-circuitant le sas de l'écluse.

BDO : base de données ouvrages, application interne à VNF et qui permet de recenser les ouvrages liés à la voie d'eau avec leurs spécificités techniques

Bief : portion de canal située entre deux écluses. Le nom donné à un bief correspond à celui de l'écluse aval.

Bief de partage : bief situé au sommet du relief que franchit le canal. Il ne peut donc recevoir gravitairement de l'eau d'aucun autre bief du même canal.

Chemin de halage : Anciennement les chevaux (ou les mariniers et leurs femmes) halaient les bateaux (action de remorquer), il s'agit aujourd'hui des actuels chemins de service des agents de la voie d'eau. Le chemin de contre-halage est situé sur la rive opposée au chemin de halage.

Chômage : arrêt de la navigation en général en basse saison sur un ou plusieurs biefs pour réaliser des travaux sur des ouvrages habituellement noyés

CMR : Canal de la Marne au Rhin

BPV : Bief de Partage des Vosges

Débit réservé : débit minimal qu'il faut maintenir en aval d'un ouvrage hydraulique, garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces présentes. Ce débit, d'une manière générale, ne doit pas être inférieur au 1/10ème du module sauf cas particulier.

DTS : Direction Territoriale de Strasbourg des Voies Navigables de France.

Écluse : sas délimité par une porte amont et une porte aval, permettant le franchissement d'un dénivelé par un bateau égal à la hauteur de chute.

Éclusée = Bassinée : ensemble des manœuvres nécessaires au franchissement de l'écluse par un ou plusieurs bateaux.

Gabarit Freycinet : gabarit standard pour les péniches de 38,5 m sur 5,05 mètres et un tirant d'eau de 1,80 à 2 mètres. Un canal au gabarit Freycinet permet donc le passage des bateaux de ce standard.

MME : modernisation des méthodes d'exploitation

Mouillage : profondeur disponible pour le bateau, correspondant à la somme du tirant d'eau et du pied de pilote.

PC : poste de contrôle.

Pied de pilote : Profondeur minimale que l'on doit laisser sous le bateau. Elle est de 20 à 50 cm, pour des raisons de sécurité, mais aussi pour assurer un bon écoulement des filets d'eau sous le bateau.

Rigole d'alimentation : canal artificiel permettant d'alimenter la voie d'eau. Elle transporte l'eau depuis le réservoir (lac, étang ou rivière) jusqu'aux biefs de navigation (en général le bief de partage).

Talweg : ligne symbolique joignant les points les plus bas d'une vallée

Usine élévatoire : Il s'agit d'une station de pompage en tout point car elle achemine de l'eau de l'aval à l'amont mais dans notre cas, il s'agit d'un ancien ouvrage dont l'entretien et l'exploitation sont plus complexes. Une distinction sera faite avec une station de pompage, plus moderne.

Tirant d'eau : profondeur de la quille d'un bateau, c'est-à-dire la profondeur maximale d'un bateau.

Vantail : La partie mobile d'une porte. Une porte busquée d'écluse comporte deux vantaux.

Vantelle : vanne à guichet située dans un vantail de manière à alimenter le bief aval.

Introduction

Depuis 2007 en France, les établissements publics de l'État subissent de grandes réductions d'effectifs. Devant ce phénomène, Voies Navigables de France se doit de fixer un niveau de service cible pour l'ensemble de ses voies d'eau. En parallèle l'établissement s'est fixé pour objectif d'améliorer les conditions de travail des agents. C'est dans ce contexte que l'établissement public qui exploite le plus grand réseau fluvial de France modernise ses infrastructures mais également les conditions de travail de ses employés. L'automatisation des ouvrages et leur télégestion sont donc privilégiées pour permettre de réduire le temps de travail nécessaire à leur exploitation ainsi que les déplacements des agents. Avec le changement climatique et le très récent projet de loi sur les mobilités, le fret fluvial s'impose comme un moyen écologique et économique pour s'adapter aux changements à venir.

La voie d'eau est également un lieu d'attrait important avec le développement de la navigation de plaisance, c'est le cas du canal de la Marne au Rhin-branche EST. C'est sur cet itinéraire privilégié des touristes en Moselle et dans le Bas-Rhin que se trouvent des ouvrages d'art comme le plan incliné d'Arzwiller qui aujourd'hui attire près de 70 000 touristes par an [13]. L'attrait touristique du canal est devenu essentiel pour ce territoire situé autour de la vallée de la Zorn qui profite de nombreuses manières de la haute saison, que ce soit la location de bateaux, l'afflux de personnes vers les commerces ou encore les nuitées des touristes. VNF souhaite ainsi maintenir une offre de service équivalente pour cette voie d'eau très fréquentée.

Dans ce cadre précis, la direction territoriale de Strasbourg de VNF a souhaité que soit réalisée une méthode de priorisation des ouvrages, simple et robuste, qui puisse être employée comme un outil d'aide à la décision. Cet outil devra être applicable sur l'ensemble des itinéraires de la DTS afin de mieux orienter les investissements dans le cadre de la modernisation des ouvrages.

Le travail consistera en un premier temps à étudier les ouvrages du canal et connaître son fonctionnement. Cette prise de connaissance sera développée dans une enquête de terrain afin de connaître les besoins réels d'exploitation au sein des différentes équipes intervenant sur le CMR-branche EST. Ces données seront reportées dans une base de données structurée. À partir de plusieurs critères et de calculs, les données aboutiront à l'élaboration d'une méthode de classement qui priorise les ouvrages en fonction des besoins en exploitation. Des aménagements pourront être proposés aux ouvrages avec un chiffrage des interventions.

1. Contexte du stage et objectifs

1.1. Présentation de la structure d'accueil

1.1.1. Voies navigables de France

Voies navigables de France est un établissement public administratif (EPA) du Ministère de la transition écologique et solidaire, constitué de personnels public et privé, répartis au sein du siège et de sept directions territoriales. L'établissement existe sous sa forme actuelle depuis 2013, date à laquelle l'Établissement public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) VNF, en charge du budget d'investissement et du pilotage de projets sur la voie d'eau, a récupéré une partie des compétences des services de navigation qui étaient des services déconcentrés de l'État qui s'occupaient spécifiquement de l'exploitation des ouvrages.

Actuellement VNF a en charge l'exploitation, la maintenance la modernisation et le développement de près de 6700 kilomètres de rivières et canaux navigables sur les 8000 km constituant le réseau français. VNF a également en charge la gestion et la valorisation de 40000 hectares de domaine public fluvial, près de 4000 ouvrages d'art (qu'ils s'agissent d'écluses, barrages, prises d'eau, etc.) et 2500 bâtiments et maisons éclusières.



Figure 1 Carte des directions territoriales de VNF en France

Le siège est situé à Béthune dans le Pas-de-Calais, une autre partie de la direction est quant à elle basée à Paris. Le siège pilote l'ensemble des projets stratégiques nationaux, définit le cadre budgétaire et les axes d'interventions. Les directions territoriales sont quant à elles chargées de la déclinaison des projets nationaux et de la gestion du réseau à l'échelle de leur territoire.

Les trois objectifs que se fixe VNF sont :

- 1) Promouvoir la logistique fluviale et faciliter le report modal
- 2) Favoriser le développement économique des territoires via l'offre de tourisme dite « fluvestre »
- 3) Optimiser la gestion de la ressource en eau

Le travail de ce stage s'inscrira d'ailleurs sur ce troisième point.

1.1.2. Direction territoriale de Strasbourg

Il s'agit d'une des sept directions territoriales réparties à travers le territoire métropolitain et son territoire occupe 5 départements : la Moselle, le Bas-Rhin, le Haut-Rhin, le territoire de Belfort et la Haute-Saône. Elle s'occupe d'un réseau de 480 kilomètres linéaires qui dessert également l'Allemagne et la Suisse, dont 190 km de voies à grand gabarit et le reste au gabarit Freycinet. Le grand gabarit autorise des bateaux jusqu'à 3000 tonnes de charges sur le Rhin, le grand canal d'Alsace et le canal de Huningue tandis que les navires au gabarit Freycinet ont un tonnage maximal de 300 tonnes **[13]**. L'établissement compte 434 agents (05/07/2019) qui travaillent dans les différents corps de métier à travers le territoire.



Figure 2 Direction territoriale de Strasbourg (Quai de Paris) (source Thierry PUJOL)

Le centre administratif est basé au 4 Quai de Paris à Strasbourg, où se trouve la direction locale ainsi que différents services et unités territoriales. Les unités territoriales (UT) sont les organisations qui exploitent les différents canaux. Les agents qui y travaillent sont donc organisés en premier lieu autour de leur unité territoriale. Le canal de la Marne au Rhin a sa propre UT, par exemple, et est basé à Saverne. La DTS est composée également de différents services dont la direction, le secrétariat général, le service développement et le service technique de la voie d'eau (ou STVE).

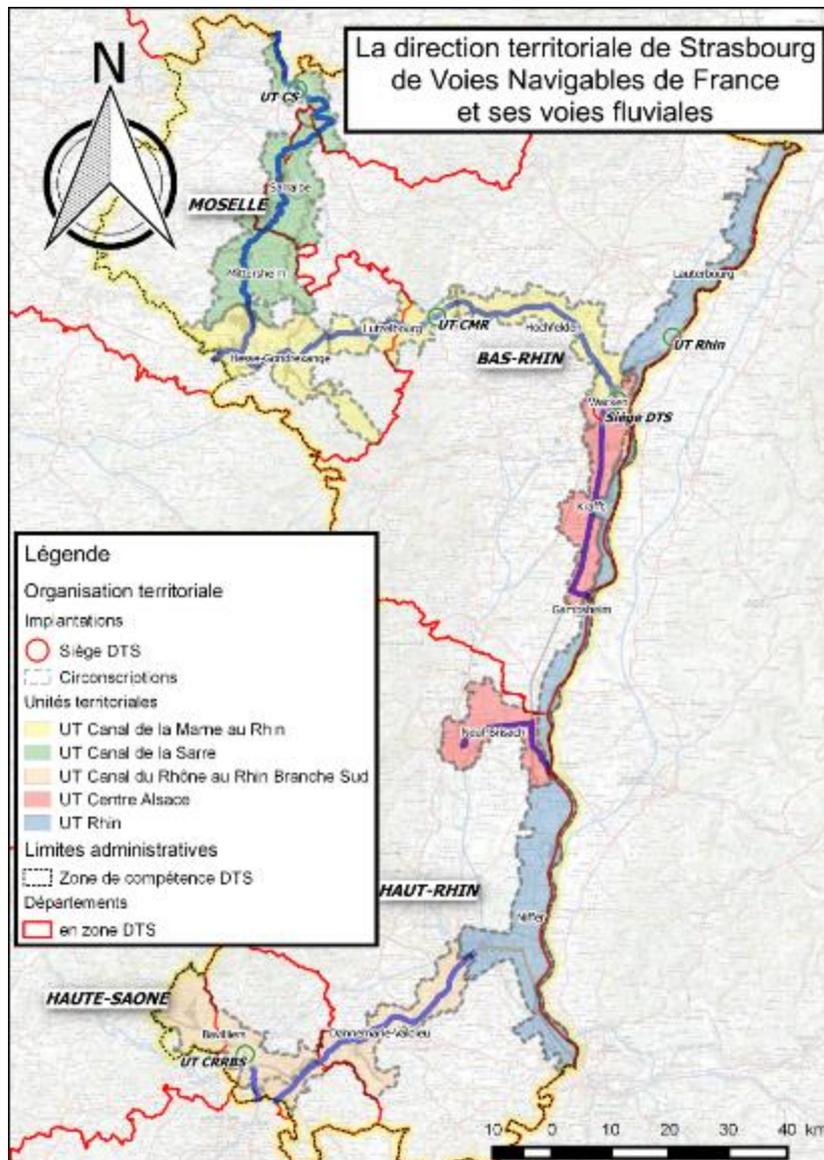


Figure 3 carte de la DTS, document interne

C'est dans ce dernier que le stage s'est déroulé, il est composé de différentes unités fonctionnelles dont :

- ❖ Projets transfrontaliers
- ❖ Géomatique
- ❖ Budget/Administration
- ❖ Exploitation/Maintenance
- ❖ Maîtrise d'ouvrage
- ❖ Eau, Environnement et Risques

Le stage s'est effectué dans l'unité fonctionnelle Eau, Environnement et Risques (EER) sous la supervision de M Martin SALESES, mais également avec la collaboration de Mme Olivia RENARD et M Olivier CHRISTOPHE qui occupent respectivement le poste de chef aux unités fonctionnelles Exploitation/Maintenance et Maîtrise d'ouvrage.

1.2. Projets stratégiques de l'établissement dans lesquels s'inscrit ce stage

Pour mieux comprendre le contexte général à Voies navigables de France et donc celui dans lequel le stage a été réalisé, il est important de définir ce que sont la MME et le chantier 1.2.

1.2.1. Modernisation des méthodes d'exploitation (MME)

La MME est un programme national qui définit un cadre et un budget afin de réduire la pénibilité au travail, réduire les temps d'exploitation (notamment les temps de déplacement), améliorer les conditions de navigation et améliorer la gestion hydraulique du réseau. Cela se traduit par l'automatisation ou le pilotage à distance des ouvrages, la mise en place d'outils de supervision et d'aide à la décision, ainsi que par une réorganisation de l'exploitation du réseau. Ce programme national est décliné à travers chaque direction territoriale en fonction des besoins et des enjeux au niveau local.

La MME doit ainsi permettre de maintenir un niveau de service identique avec des effectifs moindres. Pour les ouvrages, c'est l'unité fonctionnelle Maitrise d'Ouvrage qui intègre la MME dans son quotidien, soit en initiant des travaux d'automatisation d'ouvrages ou de rénovation, soit en anticipant de futurs travaux et investissement et dans ce cas en tenir compte dans les travaux en cours. L'unité fonctionnelle Eau Environnement et Risques est responsable du déploiement du système d'information de la gestion hydraulique et met en place l'instrumentation, la supervision et les outils d'aide à la décision nécessaire à la gestion hydraulique du réseau. Enfin l'unité fonctionnelle Maintenance/Exploitation, en relation avec les responsables des unités territoriales, optimise les méthodes d'exploitation liées au travail des agents sur le terrain.

Régulièrement des revues de projet trimestrielles sont organisées dans chaque direction territoriale afin d'échanger sur les projets en cours et à venir. Une communication mensuelle est réalisée également sur les budgets alloués à la MME.

La modernisation concerne également l'aspect informatique et le traitement des données essentielles à l'exploitation de la voie d'eau comme les cotes de biefs et les débits aux prises d'eau.

Le Système d'Information de la Gestion Hydraulique ou SIGH regroupe l'ensemble des moyens et outils informatiques mis à disposition des agents pour maintenir le même niveau de service et optimiser la ressource en eau dans le contexte actuel de réduction des effectifs qui a été expliqué. La SIGH est intégré dans les travaux de modernisation et se révèle nécessaire pour pallier les réductions d'effectifs dans les équipes d'exploitation [3]. Le fonctionnement détaillé de la supervision se situe en **annexe 9**.

1.2.2. Chantier 1.2

Le chantier 1.2 qui a commencé en 2017 est un programme national piloté par le siège avec la collaboration des DT qui propose des pistes de réorganisation des équipes et des services en s'adaptant à la baisse globale des effectifs tout en maintenant un même niveau de service. Ces planifications sont propres à chaque DT car le nombre d'agents et leur répartition est unique par la diversité des voies d'eau et du contexte historique.

Au sein de la DTS, plusieurs actions relèvent du cadre du chantier 1.2. Ces actions doivent permettre de garantir les mêmes services avec la perte chaque année de 10 à 15 équivalents temps plein ou ETP dans la DTS. Ainsi, l'embauche de saisonniers en haute saison pour pallier le manque d'effectifs constitue un élément clé du chantier 1.2. C'est le cas pour le CMR-branche EST qui accueille une dizaine de saisonniers pour l'année 2019. La stratégie de VNF pour les itinéraires touristiques comme celui-ci est d'organiser l'exploitation même du canal en une exploitation saisonnière avec un effectif « socle » qui persiste en basse saison mais qui est accompagné de saisonniers en haute saison. Ceci dans l'idée de ne pas augmenter le nombre d'ETP à l'année sur l'itinéraire.

Ce programme est intimement lié à la MME, c'est-à-dire que la direction prend la responsabilité de supprimer, fusionner ou réorganiser des équipes en même temps que l'exploitation des ouvrages devient moins pénible pour les agents. Ces deux programmes sont donc complémentaires et évoluent ensemble.

Avec le projet de loi récent sur les transports et l'allocation pour VNF d'une enveloppe budgétaire supplémentaire dédiée à la modernisation, le chantier 1.2 est mis en stand-by depuis la fin du mois de juin. C'est-à-dire que la direction locale souhaite geler les projets de réorganisation en cours, cependant aucune annonce concrète d'arrêt du projet 1.2 n'a été mentionnée et les réductions d'effectifs se maintiennent.

1.3. Attentes du travail du stage pour VNF

Dans le cadre de la MME et du chantier 1.2, l'unité fonctionnelle Exploitation et maintenance doit connaître précisément les besoins en exploitation sur les ouvrages de gestion hydraulique et l'unité fonctionnelle Maîtrise d'ouvrage souhaite disposer d'une méthode de priorisation des opérations de modernisation à réaliser.

Le travail va donc permettre dans un premier temps d'améliorer la connaissance dont VNF dispose sur les besoins liés à l'exploitation des ouvrages de gestion hydrauliques, des informations essentielles sur les types de manœuvre et leur fréquence, durée, ... Le fonctionnement particulier, en fonction du moment de l'année (période pluvieuse et période sèche), mais également en fonction des secteurs, devra être pris en compte.

Dans un second temps, l'ensemble des connaissances et des données sur les besoins en exploitation des ouvrages permettra d'élaborer une base de données. C'est sur cet outil que sera élaborée une méthode simple et reproductible qui pourra mettre en relief les ouvrages qui nécessitent le plus d'investissement de la part de l'unité Maîtrise d'ouvrage. Ce travail sera discuté, testé et approuvé afin

d'éventuellement l'employer à l'avenir sur d'autres itinéraires que le canal de la Marne au Rhin-
branche EST.

Pour appuyer la méthodologie de priorisation, des aménagements ainsi qu'un chiffrage seront
proposés afin de donner un cadre à la maîtrise d'ouvrage.

1.4. Définition de la gestion hydraulique

On peut définir la gestion hydraulique comme la somme des actions nécessaires afin d'assurer le
fonctionnement des voies navigables tant par la régulation des niveaux des biefs, la constitution de
réserves en eau ou encore l'alimentation en eau des canaux [3]. Cela nécessite une bonne maîtrise du
fonctionnement hydraulique de la voie d'eau et des différents contextes hydrauliques (normal, crue
ou étiage).

Maîtriser le fonctionnement hydraulique c'est donc savoir réguler les débits et contrôler les niveaux
d'eau dans les différents plans d'eau. La gestion hydraulique touche aux domaines de l'exploitation,
l'ingénierie mais aussi du pilotage (SIGH). Bien entendu, la maintenance et la surveillance des ouvrages
est essentiel pour s'assurer du bon état fonctionnel de l'ouvrage.

2. Présentation du site d'étude

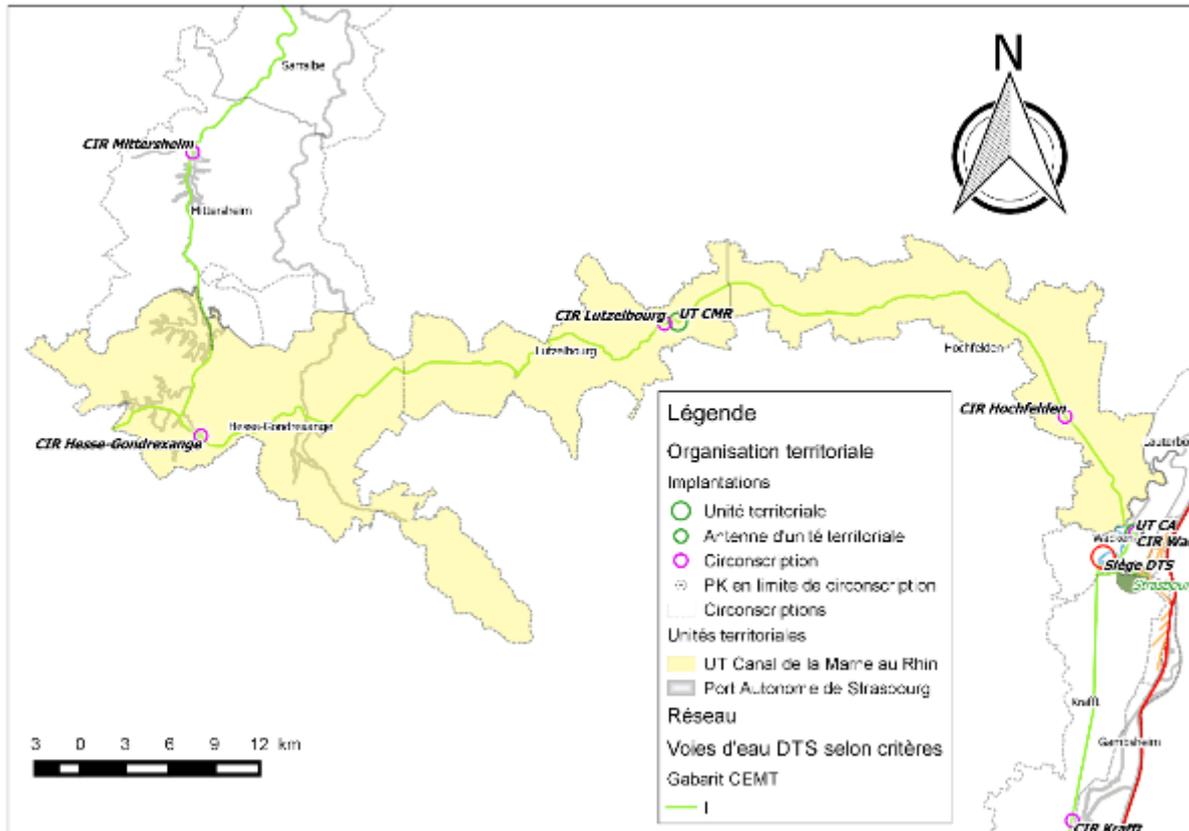


Figure 4 Carte du CMR avec les différentes circonscriptions

Le canal de la Marne au Rhin est une voie fluviale longue de 314 kilomètres qui relie la Marne à Vitry-le-François (51) au Rhin à Strasbourg. Il permet la navigation entre la région parisienne et le bassin Atlantique au bassin Rhénan et la Suisse. Déjà pensé au 18^e siècle au temps de la monarchie, il a finalement été inauguré en 1853 par le gouvernement français et rehaussé pour le gabarit Freycinet à la fin du 19^e siècle par l'Empire Prussien pour augmenter le trafic du fret à une époque où la région exportait du charbon par la voie d'eau [9].

Au sein de la DTS, nous exploitons uniquement une partie de ce canal, qu'on nomme ainsi le canal de la Marne au Rhin - branche EST. Il est délimité à l'Ouest par l'écluse de Réchicourt en Moselle et l'écluse n°1 du canal de la Sarre à Diane-Capelle (57) et au sud-est par l'écluse Nord du port autonome de Strasbourg. La section à l'est de l'écluse de Réchicourt est exploitée par la DT Nord-Est basée à Nancy.

Sur une longueur de 91 kilomètres, la voie d'eau compte 35 écluses, un plan incliné transversal, cinq prises d'eau sur les rivières de la Sarre et la Zorn et deux Étangs réservoirs exploités par VNF.

Le canal de la Marne au Rhin est principalement fréquenté par des plaisanciers pour le tourisme et est l'itinéraire le plus touristique de la DTS. Le principal attrait du canal est le plan incliné d'Arzwiller (7884

bateaux au plan incliné en 2017). Le plan incliné est un ouvrage très particulier qui est également visité sur place et dispose de sa propre équipe d'agents pour son exploitation complexe.

Le CMR-EST est constitué de deux éléments qui ont une exploitation distincte en termes de gestion hydraulique, d'un côté le bief de partage avec ses étangs réservoirs et de l'autre le canal en aval du plan incliné. Par la suite, deux périodes seront distingués dans l'année : **la haute saison** (mai à septembre) et **la basse saison** (octobre à avril). Ces deux périodes présentent des particularités en terme d'exploitation dans la gestion et l'exploitation des ouvrages de gestion hydraulique.

2.1. Fonctionnement hydraulique du canal de la Marne au Rhin-branche EST (CMR)

Le canal de la Marne au Rhin est une voie fluviale longue de 314 kilomètres qui relie la Marne à Vitry-le-François (51) au Rhin à Strasbourg. Il permet la navigation entre la région parisienne et le bassin Atlantique au bassin Rhénan et la Suisse en traversant le massif des Vosges par un ensemble de biefs et d'écluses.

Déjà pensé au 18^e siècle au temps de la monarchie, il a finalement été inauguré en 1853 par le gouvernement français et rehaussé pour le gabarit Freycinet à la fin du 19^e siècle par l'Empire Prussien pour augmenter le trafic du fret à une époque où la région exportait du charbon par la voie d'eau.

Un canal est une voie d'eau aménagée sur le territoire et peut mesurer jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres. Un tel ouvrage n'est pas étanche et une partie des eaux s'infiltré dans le fond du canal ou à travers les digues. Il a donc besoin d'être constamment alimenté en eau pour la navigation.

Au courant de la fin du 19^e siècle, d'importants rehaussements de berge ont été effectués sur la plupart des canaux pour permettre la circulation d'un nouveau standard de bateaux, plus lourds, et donc avec un tirant d'eau plus important. Les berges ont donc été rehaussées par endroits, cela a une conséquence sur l'apparition de fuites un peu plus importantes sur la partie supérieure des digues. Un canal comme celui du CMR présente des fuites estimées à près de 91 % du volume total injecté [4]. C'est-à-dire que 91 % de l'alimentation en eau du canal permet de combler les pertes dû à l'infiltration et aux fuites, le reste sert quant à lui à combler les bassinées des écluses. Ce sont donc des volumes importants qui peuvent transiter au sein du canal avec des flux pouvant atteindre jusqu'à près de 100'000 mètres cubes d'eau par jour pour le prélèvement de la prise d'eau de Nitting sur la Sarre. Les décisions sur les volumes journaliers mobilisés sur les ouvrages de prise d'eau et les différentes vannes font partie intégrante de la gestion hydraulique du canal.

2.1.1. Le bief de Partage des Vosges

Il s'agit d'un bief de partage situé dans le département de la Moselle dans les environs de Sarrebourg, c'est donc le bief le plus haut et par conséquent il n'y a pas de biefs plus en amont mais trois canaux qui sont plus bas, le CMR-EST le CMR-OUEST et le canal de la Sarre. Il dispose de sa propre alimentation en eau qui est constitué par les prises d'eau de Nitting et Lorquin, ouvrages situés respectivement sur la Sarre Rouge et la Sarre blanche, deux affluents de la Sarre. Il s'agit de barrages d'alimentation qui

dérivent une partie des eaux de la rivière Sarre dans un canal d'alimentation, qui, à son tour alimente le bief de partage. Cette alimentation se fait de façon permanente et est soumise à réglementation avec un débit sanitaire réservé exigé par les services de l'État.

Le bief de partage mesure près de 37 kilomètres, l'alimentation par la Sarre ne suffit pas cependant en période estivale durant une période allant de Mai à Septembre. C'est dans ce contexte qu'ont été aménagés deux étangs réservoirs, au début du 19^e siècle, pour alimenter le bief de partage en complément. L'étang de Gondrexange d'une capacité utile de 12,2 millions de m³ et l'étang du Stock avec 16,1 millions de m³ permettent donc de prendre le relais en période estivale. Les agents maintiennent cependant l'alimentation par la Sarre toute l'année avec, néanmoins, le maintien du débit réservé aux droits des prises d'eau.

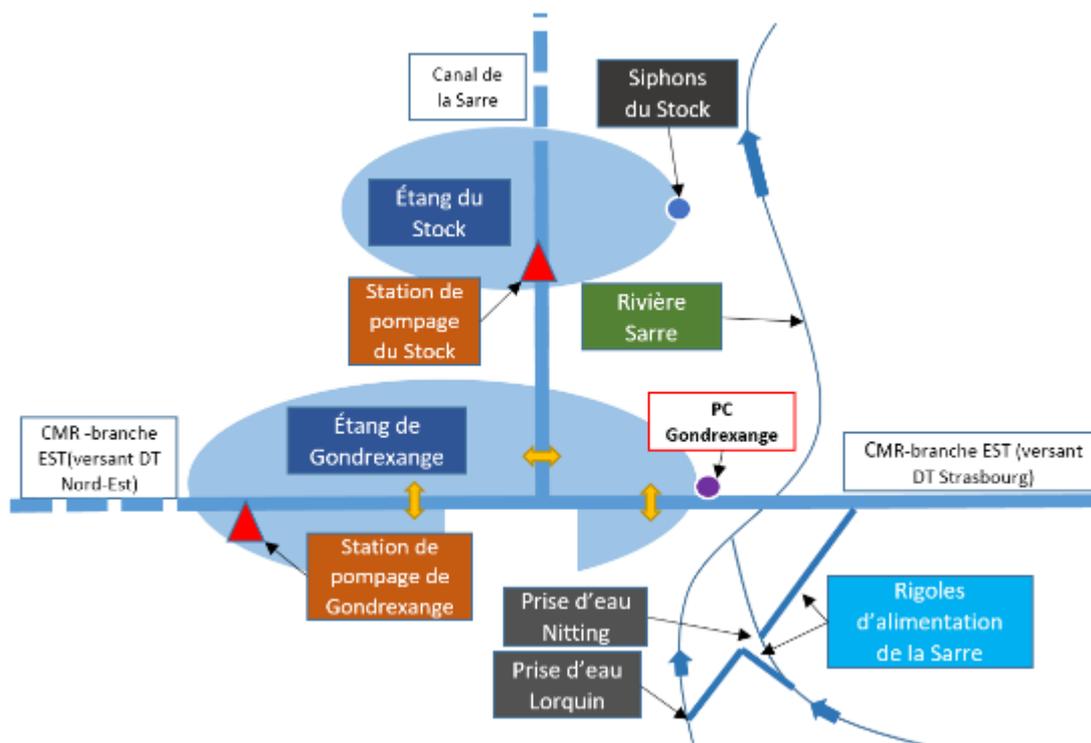


Figure 5 Schéma de l'alimentation en eau du bief de partage des Vosges

La gestion hydraulique opérée dans le secteur du bief de partage des Vosges est complexe mais elle est importante pour le maintien de la voie d'eau.

L'étang de Gondrexange

Il a été initialement créé pour la pisciculture au 14^e siècle mais rehaussé pour la navigation à la fin du 19^e siècle. L'itinéraire traverse l'étang et coupe par conséquent ce dernier en plusieurs étendues d'eau. A cause de la cote du canal et du marnage de l'étang, le canal est délimité par des digues et donc les différentes parties de l'étang que l'on nomme « cornées » ne peuvent communiquer entre elles qu'avec des siphons qui ont été installés à cet effet.

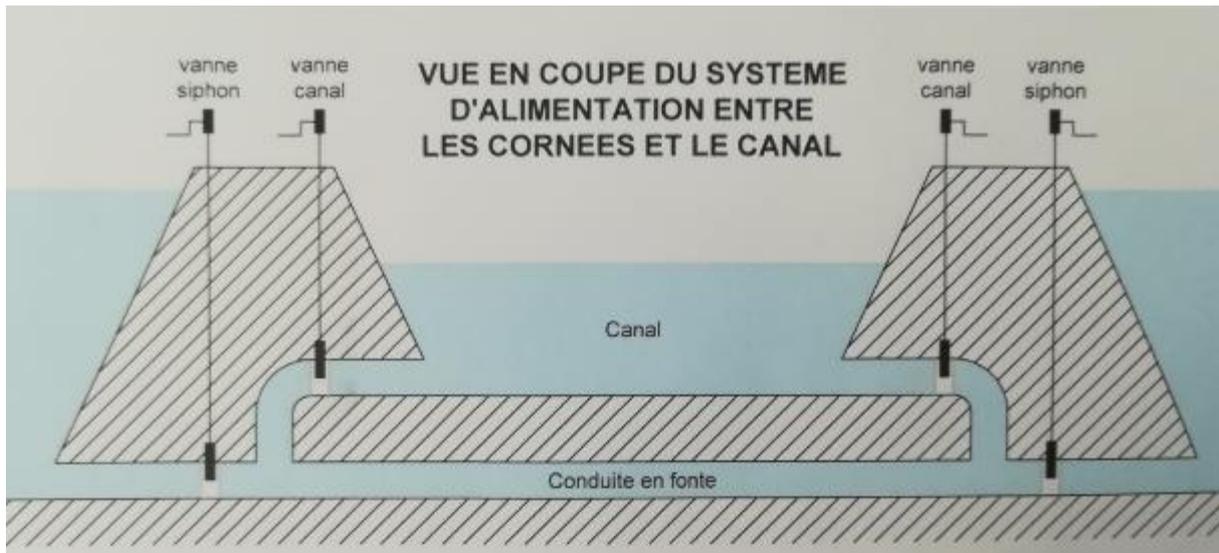


Figure 6 Coupe du principe de fonctionnement d'un siphon de l'étang de Gondrexange (document M Stéphane MUNOS)

L'étang de Gondrexange est plus haut que le canal, il alimente en gravitaire le canal en haute saison mais nécessite un remplissage par pompage pour la basse saison. En effet, le bassin versant naturel ne suffit pas pour le remplir jusqu'à sa cote d'exploitation pour la haute saison, hormis des années très pluvieuses comme en 2005 par exemple. Le pompage se fait donc par l'usine élévatoire des eaux de Gondrexange (nom donné à cette station de pompage). Le bâtiment a été construit à la fin du 19e siècle et les pompes datent quant à elles, de 1937. Il s'agit plus précisément de moteurs reliés à une roue à aube horizontal qui transfère de l'eau d'une chambre inférieure au niveau du bief à une chambre supérieure au niveau de l'étang. Le bâtiment comprend trois motopompes Bergeron de 1931 d'une capacité totale de 9 000 m³/h



Figure 7 Étang de Gondrexange et ses cornées (source GÉOPORTAIL)

L'Étang du Stock

Initialement, il a été conçu pour l'alimentation du canal vers la fin du 19e siècle mais il a également servi de ligne Maginot « aquatique » pour empêcher le passage de blindés et submerger des troupes à pieds.

L'étang du Stock se situe quant à lui à une cote plus basse que le canal, il ne peut donc pas alimenter le bief en voie gravitaire. Il va donc nécessiter un pompage par un groupe de 4 pompes, dont une n'est pas mise en service pour prendre éventuellement un relais en cas d'incident. Elles ont des caractéristiques différentes mais l'ensemble des trois pompes en service fournit un débit de 6000 m³/h, la quatrième pompe n'est volontairement pas mise en service. Pour des raisons économiques, le volume utile de l'étang de Gondrexange est utilisé avant tout, puis c'est celui du Stock par le pompage. Durant la basse saison, l'étang est donc alimenté par la voie gravitaire.

Le canal traverse également l'étang mais par-dessus. Cependant il n'y a pas de cornées car la traversée se fait par une double digue composée d'un pont canal. Il n'y a donc pas de compartiments hydrauliques isolés les uns des autres au sein de l'étang.



Figure 8 Étang du Stock (source GÉOPORTAIL)

Ouvrage	Bief de partage	Étang de Gondrexange	Étang du Stock
Cote maximale d'exploitation (NGF)	266.83	269.29	259.59
Cote minimale d'exploitation (NGF)	266.73	266.79	256.37
Volume utile (Millions de m3)		12.2	16.1

Tableau 1 Cotes altimétrique NGF des étangs et du bief de partage

2.1.2. Le plan incliné d'Arzviller

Il s'agit d'un plan incliné transversal qui permet aux bateaux qui le souhaitent de relier le bief de partage des Vosges en amont au bief 18 en aval. Il a été inauguré en 1969 pour remplacer l'échelle d'écluses, 17 au total, qui demandaient près d'une journée de navigation aux bateliers. L'ouvrage permet donc de faire monter ou descendre sur 44 mètres de dénivelé un ou plusieurs bateaux en une vingtaine de minute à travers un bac, c'est-à-dire un ouvrage contenant de l'eau et qui permet de transporter les bateaux.

Le plan incliné ne constitue aucunement un ouvrage de gestion hydraulique car il ne permet pas directement d'alimenter les biefs ou de les vidanger. Cependant son exploitation nécessite une gestion hydraulique minutieuse du secteur et dans ce sens, doit être expliqué.

Le plan incliné a un fonctionnement particulier car les contrepoids au nombre de deux font chacun 450 tonnes et le bac fait près de 900 tonnes quand il est en charge. Il y a donc une égalité des charges de part et d'autre. Les moteurs qui permettent au bac de monter et descendre ont une puissance limitée et permettent uniquement de faire monter et descendre le bac en se servant des contrepoids. La technique consiste à alourdir le bac lorsqu'il est en haut et de l'alléger en bas. Les agents exploitent les variations sur la hauteur d'eau au sein du bac, le moteur quant à lui joue principalement un rôle de frein. Ainsi, avec une longueur utile de 40,44 mètres et une largeur de 5,22 mètres, un centimètre de hauteur d'eau dans le bac correspond à 2 tonnes [14]. Ainsi la hauteur dans le bief 18 à l'aval du plan est donc constamment la même et gravite autour de 2,32 mètres. Un écart de plusieurs centimètres impacte donc le fonctionnement du plan et peut forcer l'arrêt. Il faut donc veiller à garder une cote constante au bief de partage, en amont, ainsi qu'en aval au bief 18, pour permettre le fonctionnement du plan incliné d'Arzviller. Le poids des bateaux ne joue en rien sur le poids total du bac. En effet avec le principe d'Archimède, le bateau qui entre dans le bac refoule une quantité d'eau vers le canal équivalente au volume immergé du bateau, et donc au poids de ce dernier. Le bac maintient constamment son poids pendant toute la journée de navigation et à tout moment de l'année.



Figure 9 Salle des machines à gauche et bac du plan à droite (le bief 18 est en contrebas)

2.1.3. Le CMR-branche EST du bief 18 au bief 52 à Strasbourg

A l'est du bief de partage se prolonge le canal de la Marne au Rhin, vers Strasbourg. Son alimentation se fait par des prises d'eau sur la rivière Zorn qui longe l'itinéraire dans sa quasi-globalité. Il y a trois prises d'eau qui alimentent le CMR et elles sont numérotées en fonction du numéro de bief où elles se situent. Il s'agit de la prise d'eau 18 au niveau du plan incliné entre le bief de partage et le bief 18, la prise d'eau 26 en amont de Saverne et la prise d'eau 40 à Lupstein. Ces trois dispositifs consistent en des dérivations d'une partie du débit de la Zorn et alimentent le canal. Les ouvrages possèdent chacun un barrage de prise d'eau, un capteur de hauteur, une dérivation vers une vanne qui ramène ensuite les eaux dans le bief. Les écluses, tout comme les biefs, sont numérotées de 18 à 52 car la numérotation se base sur l'époque où il existait encore les 17 premières écluses (et biefs), aujourd'hui remplacés par le plan incliné d'Arzviller. Les numéros des biefs correspondent aux numéros des écluses qui « portent » le bief en question. Le bief de partage est donc également le bief n°1.

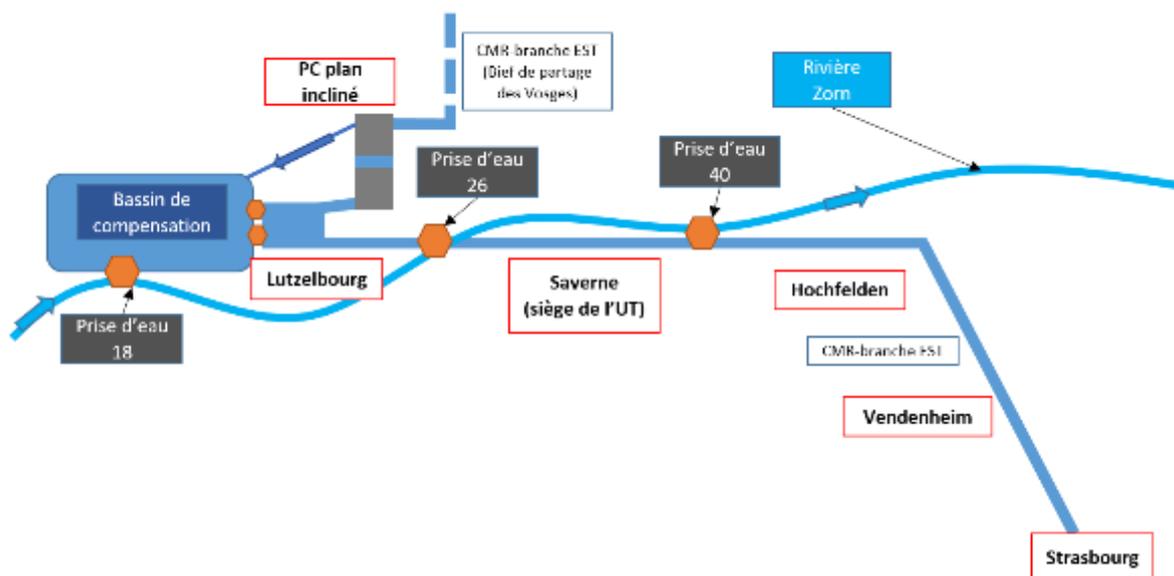


Figure 10 Schéma de l'alimentation en eau du canal

Les consignes de débit s'adaptent à la fréquentation sur le canal, aux conditions météorologiques et aux travaux sur l'itinéraire. Chaque prise d'eau est instrumentée, sécurisée et renvoie régulièrement des informations dans un logiciel de supervision nommé TOPKAPI. Comme pour les prises d'eau de Nitting et Lorquin citées précédemment, un débit sanitaire de réserve est respecté, conformément à la réglementation en vigueur dans la rivière Zorn.

2.1.4. Les prises d'eau sur la Zorn

La prise d'eau 18

La première et principale alimentation du canal est la prise d'eau 18, son débit annuel moyen en haute saison est d'environ 450 l/s mais ne fournit en hiver qu'un débit que de 350 l/s en raison de la faible fréquentation. Cette prise d'eau alimente le bief du même nom via un bassin, appelée bassin de compensation. Il s'agit d'un réservoir qui est alimenté à la fois par la rivière Zorn mais également par le bief de partage. La prise d'eau au niveau de la Zorn consiste en un barrage d'alimentation automatisé qui maintient un niveau d'eau en amont avec une consigne imposée. Cela permet à l'eau de passer au-dessus d'un déversoir légèrement en amont pour remplir le bassin. Un clapet inversé permet de réguler la quantité d'eau qui transite entre le bassin de compensation et le bief 18.

On trouve en parallèle une alimentation par les eaux provenant du bief de partage. Au droit de l'entrée amont du plan incliné, une vanne régule le débit des eaux avant qu'elles ne passent par des conduites forcées à destination du bassin de compensation. Ces eaux arrivent dans un compartiment du bassin, un clapet inversé semblable au précédent permet de réguler le débit des eaux provenant du compartiment des conduites forcées.

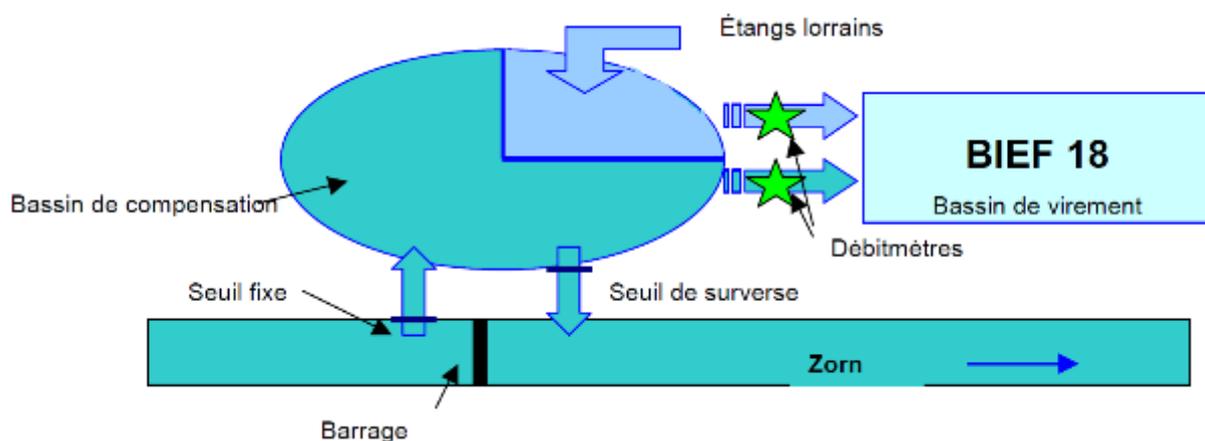


Figure 11 Schéma de l'alimentation en eau du bief 18 (Source HYDRATEC, 2014)

En raisonnant par bassin versant, il y a donc une alimentation par la Zorn et la Sarre.

La prise d'eau 26

La prise d'eau est un système d'alimentation composé simplement d'un barrage automatisé et d'une conduite dotée d'une vanne papillon manuelle qui permet de réguler le débit d'apport dans le bief 26. Cette prise d'eau constitue avec la 18 la seule alimentation en eau du canal jusqu'à la prise d'eau 40.



Figure 12 Prise d'eau 26 avec le barrage à clapet en arrière-plan et la vanne à droite sur le sol

Cette prise d'eau fournit un volume qui varie souvent dans l'année. Pour des raisons pratiques, le débit fourni à la prise d'eau 18 est plutôt constant et c'est donc la prise d'eau 26 qui sert de variable d'ajustement pour alimenter les biefs en aval jusqu'au bief 40. Le secteur compris entre le port de Saverne (bief 33) et le plan incliné est très fréquenté en haute saison et les écluses peuvent fournir un grand nombre de bassinées. Le débit fourni par la prise d'eau est donc très disparate dans l'année. Elle fournit néanmoins un débit qui sur l'année représente une moyenne de 100 l/s.

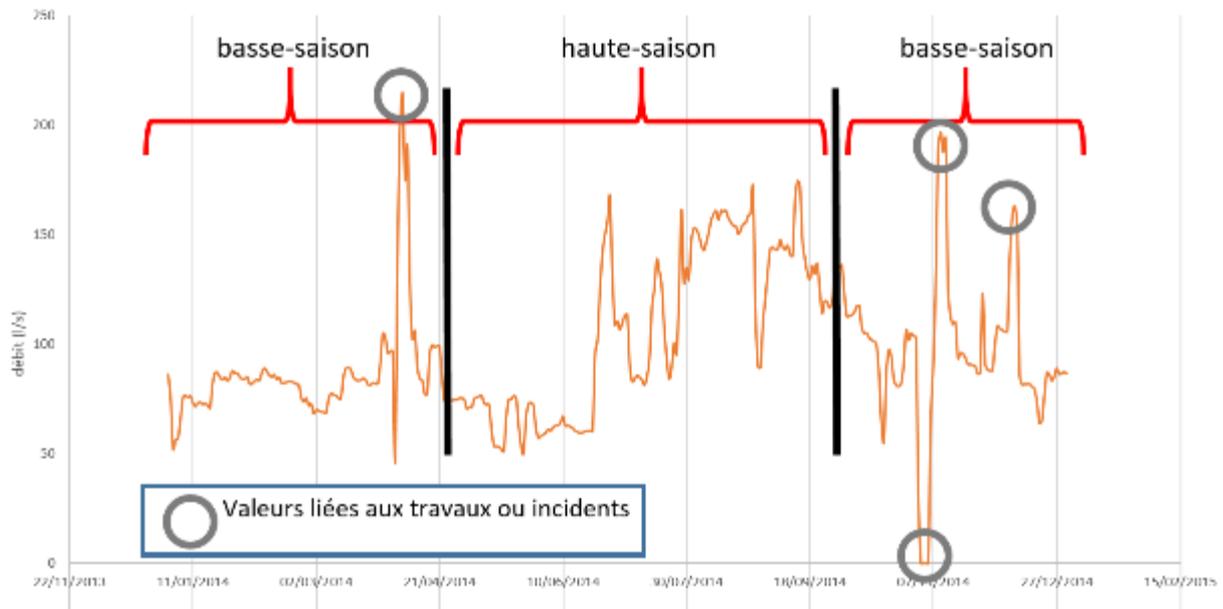


Figure 13 Évolution de l'alimentation par la prise d'eau 26 sur l'année 2014 (données issues de GAEC)

La prise d'eau 40

Elle ressemble en tout point à la prise d'eau 26, à ceci près que le barrage appartient à un moulin de la société BAGHADI SKANDER SABRI. La gestion et l'exploitation lui revient donc, les agents n'exploitent que la vanne guillotine qui régule le débit d'apport. L'eau arrive dans un fossé en parallèle du canal qui rejoindra plus tard le bief 41, la prise d'eau portant le numéro du bief qui est situé à son droit.

La prise d'eau 40, située à Lupstein (67) est la dernière alimentation en eau du canal jusqu'à Strasbourg sur 43 kms. Son débit moyen à l'année est de 120 l/s.

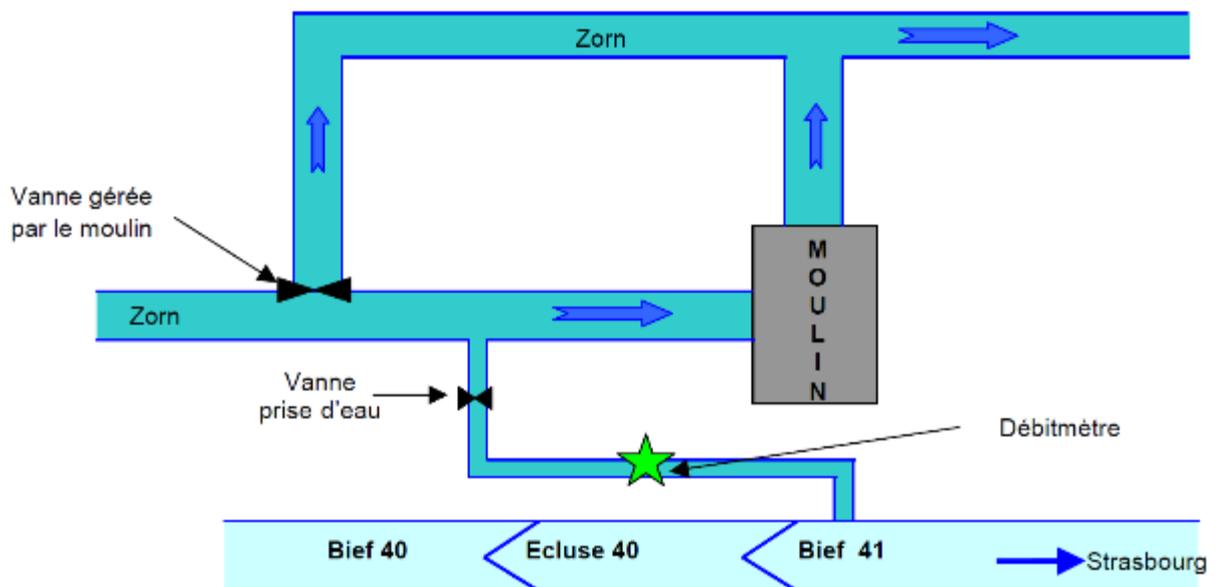


Figure 14 Schéma de fonctionnement de la prise d'eau 40

Ces prises d'eau fournissent des volumes d'eau journaliers très importants et voient leur capacité considérablement augmenter lors de la période de haute saison. En faisant le bilan de la consommation en eau du canal, chaque bassinée fait transiter un volume de près de 600 m³ d'eau. Il faut ajouter également les fuites naturelles dans le fond de la digue et les fuites de surfaces, ces pertes constituant la plus grande perte en eau du canal avec près de 91 % des apports en eau sollicités. De plus le bief 40 est très fuyard à cause de la géologie proche du gypse et qui peut être estimé à près de 70 l/s à lui tout seul. Les biefs 34 et 37 présentent également beaucoup de fuites.

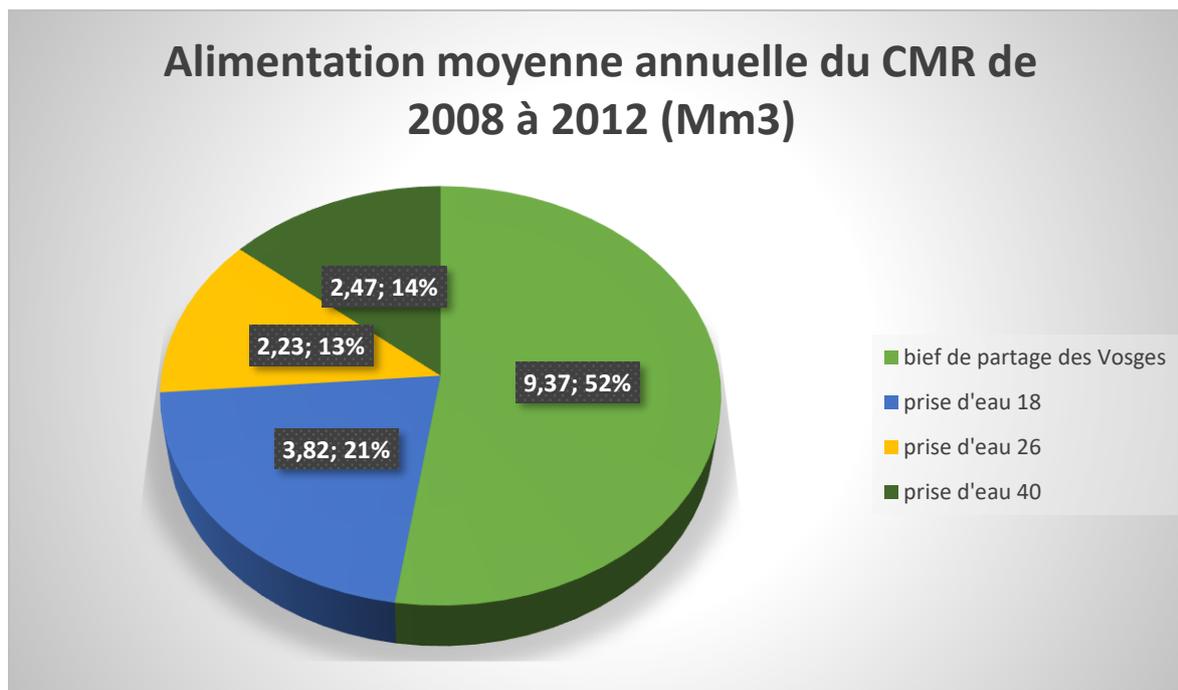


Figure 15 Chiffres sur l'alimentation du CMR-branche EST

Les prises d'eau doivent donc compenser l'ensemble des pertes pour maintenir la cote des différents biefs et ainsi pouvoir assurer la navigation.

2.1.5. Les écluses

Les écluses sont des ouvrages de franchissement de chutes nécessaires à la voie d'eau. En soit, une écluse est donc un ouvrage lié à la navigation mais elle tient également un rôle de maintien du plan d'eau et peut permettre la circulation de l'eau entre deux biefs. Chaque écluse est équipée d'une porte en aval et d'une autre en amont avec un sas en son centre. Chaque porte est équipée de 4 vannes qui agissent comme des vannes guillotines. Pour la navigation, trois vannes sur les 4 sont mécanisées et peuvent être actionnées par les navigateurs pour faire varier le niveau d'eau au sein du sas. Les bassinées sont les volumes d'eau qui permettent le remplissage d'un sas et qui sont donc retirés du bief amont et ajoutés au bief aval. Le volume d'une bassinée est d'environ 600 mètres cubes pour l'ensemble des écluses car elles sont toutes construites selon le gabarit Freycinet. L'activation d'une écluse a donc un impact sur les cotes des biefs en prélevant l'eau de l'amont vers l'aval de chaque écluse.

Lorsqu'il n'y a pas de bateaux dans le sas, la porte aval est toujours laissée entrouverte. La vantelle de la porte amont qui n'est pas mécanisée peut être manipulée par un agent pour faire transiter de l'eau de l'amont à l'aval. Elle n'est pas mécanisée mais dotée d'un système à cric et il faut une manivelle pour pouvoir la fermer ou l'ouvrir. Les agents font cette opération en mesurant l'ouverture finale de la vantelle avec un mètre pour ensuite reporter cette valeur dans un journal de bord. Ces opérations font partie intégrante de la gestion hydraulique du canal.

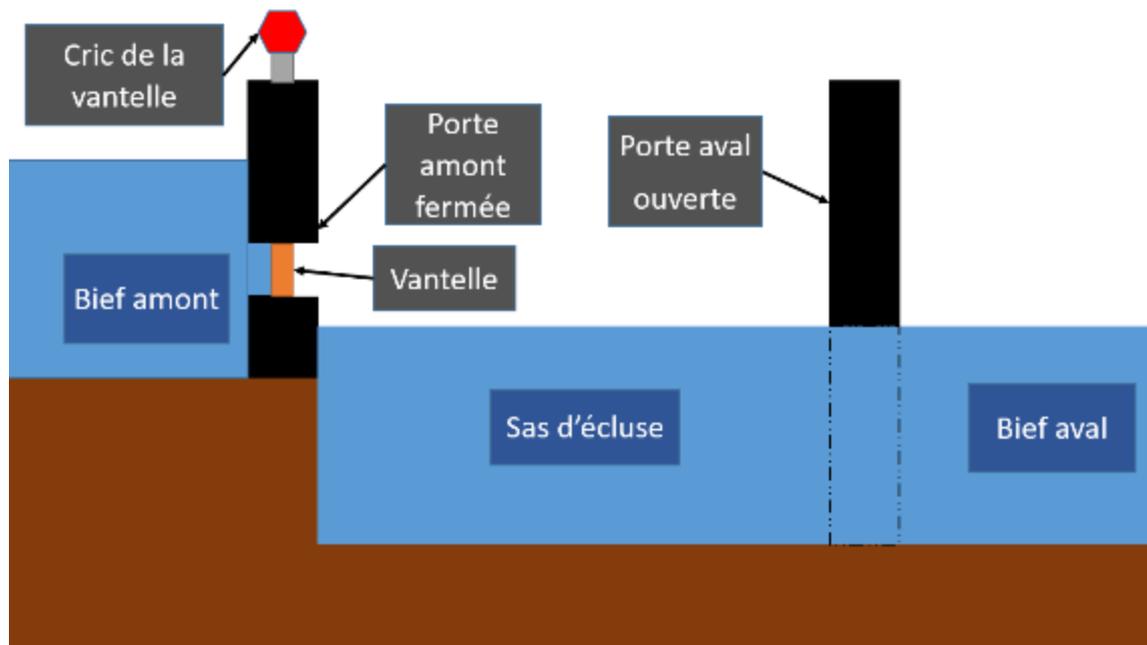


Figure 16 Schéma de la vantelle manuel amont sur une écluse

Les vantelles peuvent être manipulées, en particulier en haute saison, avec la forte fréquentation et le nombre importants de bassinées, jusqu'à près d'une quarantaine par jour en période de haute saison.

Cependant les écluses peuvent aussi être équipées d'aqueduc de contournement. Il s'agit d'un déversoir qui permet de maintenir un niveau d'eau maximal dans le bief en amont et d'alimenter le bief en aval. Il tire de l'eau en amont de l'écluse et l'achemine à travers la fondation de l'écluse jusqu'en aval. Les agents peuvent alors être amenés à utiliser les vantelles exceptionnellement pour faire transiter des grands volumes d'eau en période de fort trafic. Les écluses 18 à 26 et l'écluse 40 en sont équipées, aucune intervention n'est donc a priori requise, mais il faut veiller à enlever les embâcles pouvant obstruer l'aqueduc.

Particularités du bief 18

Au sein de cet itinéraire le bief 18 est un peu particulier. Avec le fonctionnement du plan qui a été détaillé précédemment, il faut donc veiller à garder constamment une cote à 2,32 mètres plus ou moins 3 centimètres. Cependant le bief 18 reçoit également les eaux de la prise d'eau 18 et cette dernière affiche un débit qui varie autour de 400 l/s. A cela doit être rajouté les bassinées de l'écluse 18 pour permettre le franchissement des bateaux. Toutes ces entrées et sorties font varier très rapidement le niveau du bief. Il y a un déversoir sur ce bief qui doit permettre de maintenir un niveau d'eau constant mais il a été conçu pour une cote plus haute que celle voulue pour l'exploitation du plan incliné. La vantelle amont de l'écluse 18 demande des allers et retours fréquents dans la journée afin de pouvoir satisfaire la cote de 2,32 mètres. Cette fréquence d'interventions augmente en haute saison avec le grand nombre de bateaux qui transitent par l'écluse 18.

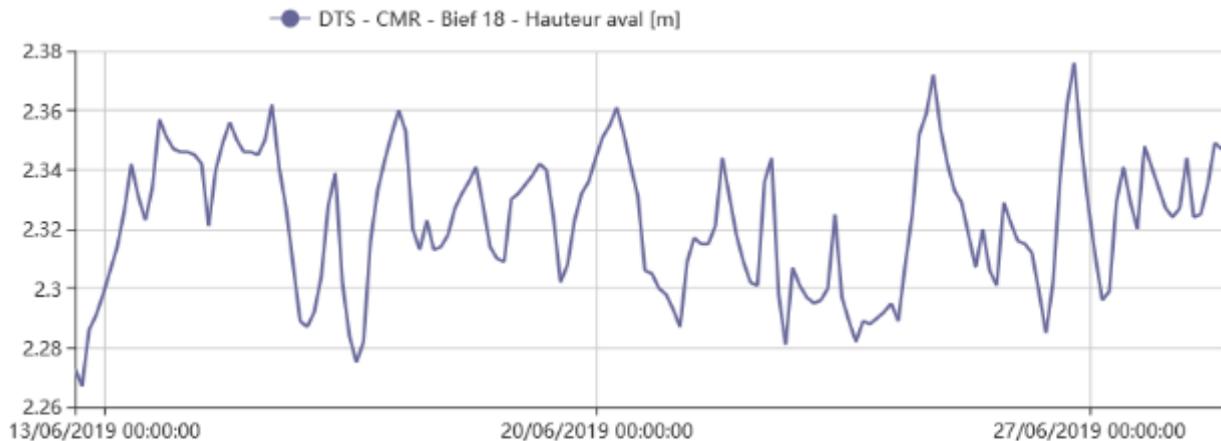


Figure 17 Données de hauteur d'eau dans le bief 18 au cours du mois de juin (données issues du serveur Aghyre)

2.1.6. Le canal et les cours d'eau

Le canal passe souvent au milieu de talweg et rencontre fréquemment des cours d'eau sur son passage. Dans la plupart des cas, des aqueducs ont été édifiés pour permettre leur écoulement sous la voie d'eau sans qu'ils ne perturbent l'alimentation du canal. Il s'agit, pour la plupart, de conduites maçonnées lors de la mise en place du canal au milieu du 19^e siècle qui laissent s'écouler de petits cours d'eau. Lorsque le canal traverse la Sarre ou la Zorn, un pont canal est mis en place pour la traversée de la rivière. Dans ce cas, le bief est littéralement porté par un ouvrage d'art qui enjambe le cours d'eau, comme un pont le ferait avec une route.

Il n'y a pas de besoin de manœuvre avec ces ouvrages, néanmoins les agents peuvent être amenés à réaliser un curage de l'aqueduc lorsqu'il est trop comblé par divers matériaux et qu'il met en charge l'écoulement. Cette mise en charge pourrait faire déborder le cours d'eau sur la berge et dégrader cette zone du canal.

Certains cours d'eau se jettent néanmoins dans le canal. Ils ont été jugés, dans la plupart des cas, comme non-permanents ou alors leur débit est trop faible pour réellement impacter la gestion hydraulique du canal. Une grande partie de ces cours d'eau se situe dans la vallée de la Zorn au niveau de Lutzelbourg dans le massif des Vosges. Le canal longe sur une distance importante le versant nord de la vallée et récupère une partie des eaux du bassin versant naturel mais néanmoins négligeable.

2.2. Exploitation du canal

Le canal de la Marne au Rhin-branche EST est exploité par la direction territoriale de Strasbourg de Voies Navigables de Strasbourg. L'itinéraire est donc assimilé à une unité territoriale dont le siège se situe à Saverne. Le siège comprend une direction et un bureau administratif pour un ensemble de 8 agents. L'unité territoriale se décompose en trois circonscriptions :

_ La circonscription de Gondrexange, une équipe de 9 agents dont le territoire comprend le bief de partage et tous les ouvrages alimentaires (étangs, prises d'eau, barrages, ...)

_ La circonscription de Lutzelbourg, une équipe de 18 agents qui a en charge l'exploitation et la maintenance des tunnels du bief de partage, du plan incliné et des biefs 18 à 37

_ La circonscription de Hochfelden, une équipe de 13 agents qui s'occupent de l'exploitation et maintenance des biefs 38 à 52.

Enfin pour la maintenance spécialisée (électricité, vérins hydrauliques, ...), il y a une équipe de 11 agents qui planifie des interventions sur l'ensemble de la voie d'eau.

Secteur	Effectifs
Siège de l'unité territoriale	8
Maintenance spécialisée	11
Circonscription de Gondrexange	9
Circonscription de Lutzelbourg	18
Circonscription de Hochfelden	13
Total UT CMR-branche EST	59

Tableau 2 Effectifs des différents secteur du CMR

Sur 59 agents pour le CMR-branche EST, 27 travaillent sur l'exploitation et la gestion hydraulique du canal. Cependant les agents d'exploitation travaillent également sur la maintenance du linéaire (entretien végétation, surveillance embâcles, ...) et peuvent venir en aide pour la navigation.

Les agents d'exploitation travaillent en général sur des journées de 10 heures, ils sont également amenés à travailler en astreinte. Les journées d'exploitation pour les agents qui travaillent dans la GH sont bien souvent organisées de la façon suivante :

- _ début de la journée avec la relève des niveaux des biefs sur le CMR
- _ ronde d'inspection matinale pour regarder l'état des ouvrages et des écluses et réaliser la maintenance préventive en enlevant les embâcles par exemple
- _ en fonction des relevés des cotes des biefs, l'agent va intervenir sur un ou plusieurs ouvrages de gestion hydraulique (vanne, vantelle, prise d'eau)
- _ retour aux locaux
- _ travaux de maintenance, interventions pour la navigation, opérations particulières, ...
- _ ronde de fin de journée

Les agents du CMR-branche EST exploitent 77 ouvrages relevant de la gestion hydraulique.

2.3. Documents disponibles

Dans le cadre du stage à VNF, plusieurs documents ont été mis à disposition de la connaissance de la voie d'eau. Premièrement, des documents issus de marchés d'études de l'itinéraire du CMR-branche EST. Un rapport du bureau d'étude HYDRATEC qui en 2014 a porté une étude de connaissance et d'amélioration du fonctionnement hydraulique de l'ensemble de la direction territoriale, dont le CMR-branche EST.

GAEC

Gaec pour Gestion et Alimentation en Eau du Canal, est un outil de base de données avec une interface de saisie qui était en activité depuis le début des années 1990 et jusqu'à fin juin 2019. Il a une vocation spécialement dédiée à la bancarisation pour sécuriser des informations importantes comme les volumes de remplissage des étangs réservoirs ou les cotes des biefs. Cependant les agents se plaignaient de nombreux problèmes techniques du serveur et de nouvelles solutions techniques ont donc été mises en place récemment.

Cet outil m'a permis d'accéder à des historiques de pompages des étangs lorrains sur la période allant de 1990 à 2019. C'est un complément d'information important pour mieux comprendre les besoins d'exploitation des stations de pompage des étangs.

BDO

Il s'agit de la Base de Données des Ouvrages qu'exploite VNF dans toute la France. Elle comprend des ouvrages de navigation, de gestion hydraulique mais également des aqueducs, des bassins, ... Pour chaque ouvrage, il y a un résumé détaillé de son rôle, sa situation et pour une partie des ouvrages, il y a un diagnostic complet qui détaille l'état fonctionnel et qui qualifie le besoin de maintenance selon un barème.

Carte d'identité

* indique une information obligatoire

Nom de l'ouvrage	5613	Mode d'exploitation de l'ouvrage *	
Nom de l'ouvrage *	Vanne de fond n°2 de l'étang de Gc	Etat de l'ouvrage *	
Famille de l'ouvrage *	Ouvrages de gestion hydraulique	Classe de service *	Saisonnalité
Nature de l'ouvrage *	Cloche	Statut d'exploitation *	Non Exploité
Propriétaire *		Si autre propriétaire *	
Gestionnaire *	Vieses navigables de France	Si autre gestionnaire *	
Exploitant *		Si autre exploitant *	
Identifiant local			
Voie d'accès	01122008	Date de mise à jour	31/12/2000
Par	Ginger		
Commentaire			



PK	PR + ABS	+
Latitude *	48.5377	
Longitude *	8.92753	

DT	Direction territoriale Strasbourg
Subdivision	UT Canal de la Marne au Rhin
Commune	HENNING
Voir d'eau	Canal de la Marne au Rhin, branche Est
Bief	de partage des Voies

Ouvrages annexes

Figure 18 Fiche ouvrage d'une vanne de l'étang de Gondrexange sur BDO (Document BDO VNF)

Cet outil m'a permis de connaître l'ensemble des ouvrages présent sur le CMR-branche EST et d'avoir un aperçu des ouvrages par territoire d'exploitation. Cependant l'outil BDO manque d'informations et plusieurs ouvrages ne sont pas cités comme la vanne segment du pc tunnel par exemple. Le travail de stage a permis de faire remonter à la responsable BDO de la DT de Strasbourg, Mme Marie-Josée MATHIS, les ouvrages manquants et les erreurs sur l'itinéraire du CMR-branche EST.

3. Application d'une méthode de classement pour distinguer les ouvrages prioritaires

3.1. Collecte des données

3.1.1. La phase d'enquête sur le terrain

Après avoir pris connaissance du fonctionnement général du canal et de la répartition des agents sur le territoire, il a été plus aisé de définir les attentes et les questions sur les conditions d'exploitation du canal. C'est-à-dire que l'on était mieux préparés pour aller sur le terrain et poser des questions pertinentes aux agents pour connaître leur quotidien dans l'exploitation des ouvrages de gestion hydraulique. C'est donc un ensemble de 77 ouvrages de gestion hydraulique du CMR-branche EST qui ont été concernés par cette enquête.

Ainsi mes attentes étaient les suivantes :

- _ faire un inventaire de l'ensemble des ouvrages qui sont réellement exploités par les agents, en plus de ceux connus et cités dans les documents internes à VNF
- _ rassembler des données techniques quand ils m'en manquait dans la bibliographie et les documents internes à VNF.
- _ prendre connaissance des manœuvres qui sont effectuées sur l'ouvrage par les agents, c'est-à-dire le type de manœuvre, la fréquence, la durée, le nombre et les précautions nécessaires. De plus s'intéresser également au temps de trajet des agents pour s'y rendre.
- _ comprendre la gestion globale des ouvrages pour chaque territoire (supervision, gestion des risques, astreintes, ...)
-

Site	Secteur d'exploitation	Ouvrages principaux pour la gestion hydraulique	Autres ouvrages
Gondrexange	Bief de partage	Etangs réservoirs, prises d'eau et pompes	Barrages
PC tunnel	Tunnels d'Arzviller et Niderviller	Vanne segment	Tunnels
Lutzelbourg	Biefs 18 à 24	Prises d'eau 18 et 26, Vantelles	Plan incliné d'Arzviller, bassin de décantation,
Saverne	Biefs 25 à 37	Vantelles	Double écluse
Hochfelden	Biefs 38 à 46	Prise d'eau 40, Vantelles	
Vendenheim	Biefs 47 à 52	Vantelles	Pont tournant de Vendenheim

Tableau 3 Effectifs des équipes sur l'itinéraire du CMR-branche EST

Dès le moment où ces objectifs ont été clairement définis, il a été possible de se rendre sur le terrain pour échanger avec les équipes d'exploitation. Comme il a été cité précédemment, l'itinéraire du canal est découpé en plusieurs zonages d'exploitation : les circonscriptions. Au moins une visite de terrain a été effectuée pour chaque circonscription. Pour être plus précis et exhaustif, le choix a été fait de se rendre sur chaque site clé des équipes d'exploitation au sein des circonscriptions.

Ces visites de terrain se faisaient à chaque fois avec un agent d'exploitation qui présentait son travail. Pour chaque circonscription, la visite s'intégrait dans le travail d'un agent d'exploitation. Ainsi donc, il a été possible de suivre des agents dans leur tournée d'inspection et les manœuvres sur les sites tout en leur posant des questions sur leur quotidien. Ce travail a pu considérablement améliorer les connaissances dont disposait la DTS sur les besoins en exploitation de ces ouvrages sur l'itinéraire du CMR-branche EST.



Figure 19 Agent Raymond Schneider qui intervient sur l'automate d'un barrage à clapets

Des données essentielles ont donc été recueillies sur les types, fréquences et durée d'intervention sur les ouvrages de gestion hydraulique. De plus, cela m'a permis de comprendre le contexte global des interventions des agents pour chaque territoire avec la complexité des trajets (météo, état des routes, circulations, ...), le système d'astreinte et les roulements dans les équipes et la gestion des crises.

Toutes ces informations sont importantes car il n'est pas envisageable de comprendre le travail effectué par les agents de terrain s'il n'y a pas une vision d'ensemble de leur quotidien. Ainsi, en plus des informations techniques recueillis sur les ouvrages et les besoins en exploitation, des échanges et des entretiens ont donc permis de mieux connaître ce contexte global.

Mis à part la visite du responsable du PC tunnels à Arzviller, les visites s'articulaient toujours autour d'une tournée d'un agent d'exploitation. En effet, le principe d'un PC est de recevoir des informations diverses au même endroit pour pouvoir piloter le travail d'autre agents ou surveiller la navigation ou gestion hydraulique. La visite au PC tunnel a pu me permettre de voir deux ouvrages de GH : la vanne segment et la vanne de fond de vidange du canal amont du plan incliné. Cette dernière n'ayant jamais été manipulée mais qui est maintenue en état dans la mesure où elle pourrait servir en cas de nécessité de vidanger la partie du bief de partage entre la vanne et le plan incliné, soit près de 3,5 kms de voie d'eau.

3.1.2. L'analyse des archives

On peut observer sur la voie d'eau que la gestion hydraulique n'est jamais la même chaque année. Elle dépend de facteurs météorologiques et de la fréquentation du tourisme en haute saison, de plus les travaux et chômages sur les écluses impactent également le travail des agents. Il est donc difficile pour un agent d'exploitation d'expliquer à quelle fréquence il intervient sur un ouvrage et il répondra souvent que cela varie d'une année à l'autre. Cependant tous les ouvrages ne sont pas aussi sensibles aux aléas cités précédemment. Il est donc possible en échangeant avec le personnel et les employés les plus expérimentés de trouver des tendances générales sur les fréquences pour une bonne partie des ouvrages comme les prises d'eau de Nitting et Lorquin, la prise d'eau 18, le siphon de Réchicourt, ..

Néanmoins, il y a des ouvrages qui sont très sensibles aux aléas et il s'agit notamment des stations de pompages de l'étang de Gondrexange et du Stock, ainsi que les vantelles des écluses du canal. Pour ces derniers, il n'est pas viable de se fier à l'une ou l'autre année mais il est plus pertinent de s'intéresser aux historiques de leur exploitation.

Ainsi, la prise d'informations s'est étendue aux historiques des manœuvres comme c'est le cas avec le journal de manœuvre des vantelles. Il s'agit d'un document utilisé sur les circonscriptions de Lutzelbourg et de Hochfelden et que les agents remplissent régulièrement en y détaillant les manœuvres effectuées sur les vantelles.

DATE	LIEUX	HEURE	AVANT	APRES	OBSERVATIONS
17/03/19	Lutzelbourg	10h00	E 32	25	250 (27)
18/03/19	Lutzelbourg	13h00	E 44	58	250 (27)
20/03/19	Lutzelbourg	9h00	E 37	58	250 (27)
21/03/19	Agnes	9h01	Ecl 37	62 mm	B = 2,40
22/03/19	Agnes	10h45	Ecl 37	59 mm	B = 2,25
23/03/19	Agnes	19h00	Ecl 37	56 mm	B = 2,25
23/03/19	Gondrexange	10h00	Ecl 44	58 mm	B = 2,25
23/03/19	Gondrexange	11h30	Ecl 44	3	3
23/03/19	Gondrexange	12h00	E 47	3	3
23/03/19	Gondrexange	14h00	E 53	53	53
27/03/19	Agnes	8h30	Ecl 37	60 mm	B = 2,54
28/03/19	Gondrexange	10h30	Ecl 46	57	B = 2,25
30/03/19	Agnes	14h00	Ecl 46	58 mm	B = 2,44
30/03/19	Agnes	18h30	Ecl 37	58 mm	B = 2,25
30/03/19	Agnes	19h00	Ecl 37	56 mm	B = 2,25
30/03/19	Agnes	19h00	Ecl 37	60 mm	B = 2,55
30/03/19	Agnes	19h00	Ecl 37	62 mm	B = 2,75
30/03/19	Agnes	19h00	Ecl 37	62 mm	B = 2,75
01/04/19	Agnes	8h30	Ecl 37	62 mm	B = 2,75
01/04/19	Gondrexange	10h00	Ecl 46	59 mm	B = 2,54
03/04/19	Gondrexange	12h00	Ecl 46	55	55
03/04/19	Gondrexange	13h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	13h45	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	16h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	16h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	16h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	16h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	16h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	16h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	17h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	17h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	17h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	17h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	17h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	17h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	18h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	18h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	18h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	18h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	18h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	18h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	19h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	19h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	19h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	19h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	19h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	19h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	20h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	20h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	20h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	20h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	20h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	20h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	21h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	21h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	21h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	21h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	21h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	21h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	22h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	22h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	22h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	22h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	22h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	22h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	23h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	23h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	23h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	23h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	23h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	23h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	00h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	00h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	00h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	00h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	00h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	00h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	01h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	01h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	01h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	01h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	01h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	01h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	02h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	02h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	02h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	02h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	02h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	02h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	03h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	03h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	03h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	03h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	03h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	03h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	04h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	04h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	04h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	04h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	04h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	04h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	05h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	05h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	05h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	05h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	05h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	05h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	06h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	06h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	06h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	06h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	06h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	06h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	07h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	07h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	07h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	07h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	07h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	07h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	08h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	08h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	08h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	08h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	08h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	08h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	09h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	09h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	09h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	09h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	09h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	09h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	10h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	10h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	10h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	10h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	10h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	10h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	11h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	11h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	11h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	11h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	11h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	11h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	12h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	12h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	12h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	12h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	12h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	12h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	13h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	13h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	13h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	13h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	13h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	13h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h30	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h40	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	14h50	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h00	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h10	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h20	E 48	56	56
03/04/19	Gondrexange	15h3			

Alimentation du bief par pompage depuis la station de pompage Diane-Capelle (étang du Stock)

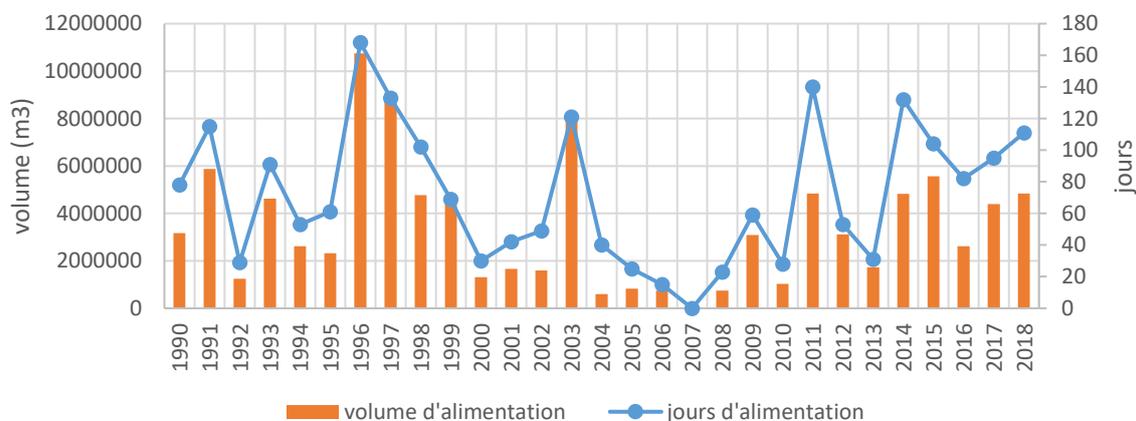


Figure 21 Historique d'exploitation de la station de pompage Diane-Capelle

Il convient toutefois de prendre en compte les extrêmes dans l'interprétation finale des résultats, car le niveau de service doit également comprendre la gestion de crise, qui dans ce cas peut correspondre à une année sèche qui sollicite rapidement l'alimentation du canal par l'étang du stock.

Ce travail a également été réalisé avec l'usine élévatoire de Gondrexange et la manipulation des diverses prises d'eau (à part Nitting et Lorquin). Il permet de dégager des valeurs moyennes qu'on considéra comme représentatives.

3.1.3. La mise en valeur des données

Les données recueillies ont donc permis de construire une base de données sous la forme d'un fichier EXCEL. Ce fichier Excel est un inventaire des ouvrages de gestion hydraulique du CMR-branche EST et comprend principalement :

- _ les données techniques par ouvrage
- _ les besoins en exploitation
- _ les particularités haute saison/basse saison pour l'exploitation

Ces données sont ensuite mises en valeur de sorte à pouvoir être exploitées par la suite dans des formules ou algorithmes.

Ouvrages	Type de manœuvre	Fréquence de passage	durée manœuvre	lieu de départ des agents	temps trajet	ronde
Porte de garde de Gondrexange	ouverture manuelle et veille	exceptionnelle	30 mns	Gondrexange	à proximité	non
Porte de garde du col des Français	enclenchement et veille	exceptionnelle	20 mns	Gondrexange	15 mns	non
Porte de garde du Houillon	enclenchement et veille	exceptionnelle	20 mns	Gondrexange	15 mns	non
Siphon de La Plage	ouverture manuelle de vanne	hebdomadaire	20 mns	Gondrexange	à proximité	non
Siphon de Réchicourt	ouverture manuelle de vanne	hebdomadaire	15 mns	Gondrexange	10 mns	non
Siphon du Gros étang	placement de batardeaux	biannuelle	20 mns	Gondrexange	15 mns	non
Siphons de l'étang du stock	ouverture manuelle de vanne	hebdomadaire	5 mns	Gondrexange	15 mns	non

Tableau 4 Exemples de données d'exploitation de quelques ouvrages dans la base de données

Une fois récoltés sur le terrain et la bibliographie, la plupart de ces données ont donc pu être synthétisées dans ce document. Cependant, des coups de fils ainsi que des mails ont dû être nécessaires pour compléter les données liées aux temps de déplacement des agents ou encore les temps de manœuvre. Ces informations sont particulièrement difficiles à récolter étant donné qu'elles peuvent varier d'un moment à l'autre de l'année et de la personne. Des moyennes représentatives ont donc été fixées afin de garder à l'idée l'ordre de grandeur.

L'idée principale de ce tableau est qu'il soit facilement reproductible par les agents qui travailleraient sur une analyse des besoins d'exploitations d'un autre itinéraire. Il est donc composé de parties bien définies et de formules préremplies afin de faciliter le travail de terrain.

3.2. Construction de la méthode de classement

Pour répondre au souhait de prioriser les ouvrages dans une méthodologie simple, la démarche s'intéresse à deux paramètres importants dans l'exploitation des ouvrages. Dans un premier temps elle cherchera à évaluer la part d'investissement d'un ouvrage pour les équipes d'exploitation à partir des données des besoins d'exploitation récoltés sur le terrain. Puis dans un second temps, elle cherchera à évaluer les conditions de travail des agents liés à l'ouvrage. Enfin ces facteurs permettront d'approcher une note finale qui permettra d'établir un classement entre les ouvrages.

3.2.1. La méthode NFDT ou Nombre-Fréquence-Durée-Trajet

A partir des données d'exploitation, il est possible d'établir un besoin global en exploitation pour chaque ouvrage afin d'ensuite établir un classement.

Homogénéité et normalisation des données :

La principale difficulté de cette démarche est de définir une valeur représentant un temps moyen d'exploitation alors que les manœuvres ne sont pas homogènes sur la plupart des ouvrages. C'est-à-dire qu'en fonction de la saison de l'année et de la fréquentation, les besoins en eau du canal ne vont pas être les mêmes et la gestion hydraulique de la voie d'eau peut évoluer. Comme il a été décrit précédemment, deux périodes importantes peuvent être distinguées dans l'année avec la haute saison associée à une fréquentation très importante de la plaisance et la basse saison qui voit passer très peu de bateaux mis à part les rares bateaux de fret entre Hochfelden et Erstein. Ainsi les fréquences d'intervention ne vont pas être les mêmes pour une grande partie des ouvrages pour peu qu'on soit en haute ou en basse saison, c'est le cas par exemple avec les stations de pompage des étangs lorrains qui sont mises en marche uniquement à certains moments de l'année. Les vannes peuvent quant à elles être très sollicitées en été avec l'importance du nombre de bassinées dans la journée et seront peu manœuvrées par les agents en hiver car les biefs sont plus stables. Cette difficulté se retrouve également pour les temps de trajet des agents qui peuvent grandement changer en fonction des saisons mais également des incidents liés à la météo. Pour citer un exemple, la vanne de La Petite Creusière à Gondrexange qui nécessite la traversée d'un bosquet de près de 500 mètres et qui est très difficile de traverser lorsqu'il y a de la neige.

Pour pallier ce problème d'homogénéité sur les valeurs liées aux besoins en exploitation des ouvrages, le choix a été fait de raisonner sur l'année pour prendre en compte la haute et la basse saison et l'ensemble des événements dans l'année qui interfèrent avec les opérations de gestion hydraulique. Ainsi pour les fréquences d'intervention, c'est le nombre de manœuvres sur l'année qui est considéré. Le nombre d'agent nécessaire quand il n'est pas de 1 et les durées de manœuvres sont considérés comme invariables sur les ouvrages du CMR-branche EST qui ont été identifiés. Pour les temps de trajet, le raisonnement est de simplifier le temps en fixant une valeur moyenne pour les interventions ponctuelles et les interventions par ronde, elle est détaillée dans la suite du rapport.

Formule pour le temps d'exploitation (NFDT) :

On a donc décidé d'estimer un temps d'exploitation annuel pour chacun de ces ouvrages à partir des informations de fréquence, durée et nombre d'agents, mais également le temps de trajet de l'agent pour effectuer l'intervention. Ce calcul est résumé par la formule :

$$\frac{\text{Fréquence (nb par an)} * \text{Nb d'agents} * (\text{Temps de trajet (mns)} * 2 + \text{Durée manœuvre(mns)})}{60}$$

Le résultat est exprimé en heures par an et est reporté dans une colonne de la base de données.

Exemple de la vanne segment exploité depuis le PC tunnel :

Il s'agit d'une vanne de segmentation qui permet de sécuriser le volume d'eau du bief de partage en cas de fuites au plan incliné. Il s'agit d'un ouvrage qui isole complètement la partie amont du plan incliné du reste du bief de partage. Elle est donc en position fermée en dehors des périodes de navigation de 20 heures à 7 heures (19 heures en basse saison) par mesure de prévention et est manipulée deux fois par jour. Elle est située à proximité du local technique du PC tunnel, ce qui ramène le temps de trajet par convention à une minute, l'agent s'y rendant à pied.

Ouvrages	Type de manœuvre	Fréquence de passage annuelle	durée manœuvre	lieu de départ des agents	temps trajet
Vanne Segment	2 X / jour	730	8 minutes	PC tunnel	1 minute

Tableau 5 Exemple d'application de la méthode NFDI sur la vanne segment

⇒ **110 heures par an d'exploitation pour cet ouvrage**

Dans cette formule, le choix a été pris de prendre en compte le temps de trajet en aller et retour en supposant que l'agent parte de son point de départ habituel et y revienne. Cette hypothèse ramène donc chaque intervention comme étant une intervention ponctuelle. Les trajets pour les manœuvres entrant dans le cadre d'une tournée quotidienne ne sont donc pas bien estimés car amplement surestimés.

Ainsi dans le secteur de Vendenheim, l'écluse 51 qui est situé en plein cœur de Strasbourg devant le parlement européen peut nécessiter un temps de trajet de 20 à 40 minutes. Cela dépend fortement de la circulation autour de l'Eurométropole. Les agents de la voie d'eau sont autorisés légalement à utiliser les chemins de halage et pistes cyclables pour se rendre plus rapidement d'écluses en écluses mais dans ce secteur, la forte fréquentation de ces chemins complique le déplacement des agents. Les fortes variations de temps de trajet depuis Vendenheim compliquent donc l'estimation du temps d'exploitation sur cette écluse.

L'hypothèse d'une intervention ponctuelle pour cet ouvrage est aussi très limitée car les agents qui travaillent à Vendenheim ont dans leur habitude de réaliser une ronde en passant de l'écluse 47 à la 51 le matin et le soir. Cela signifie qu'ils vont se rendre d'abord à l'écluse 50 qui se situe à Souffelweyersheim et qu'ensuite ils se rendent à la 51, ce qui écourte considérablement leur temps de trajet. Sur le secteur de Vendenheim, les seules opérations de GH sont les manœuvres sur vanelles et la surveillance liée aux embâcles sur les écluses. Ce sont donc des opérations très courtes ainsi la surestimation du temps de trajet impacte sévèrement l'estimation du temps d'exploitation.

Pour remédier à cela, le temps de trajet est modifié dans le cas où les interventions se font par rondes. Ainsi à partir des données de terrain et des itinéraires de ronde effectués par les agents d'exploitation, il est possible de déterminer un temps moyen entre chaque ouvrage faisant parti d'une ronde. Excepté le secteur de Gondrexange, des dispositifs de tournée (ou ronde) sont mis en place pour tous les autres secteurs d'intervention.

Points de départ	Temps moyen théorique entre chaque ouvrage
Gondrexange	Pas de ronde
Lutzembourg	10 minutes
Saverne	5 minutes
Hochfelden	5 minutes
Vendenheim	10 minutes

Tableau 6 Estimation des temps moyen de déplacement entre chaque ouvrage

Ainsi le temps aller-retour d'intervention est remplacé par un temps moyen que mettrait l'agent pour se déplacer d'ouvrage en ouvrage. Les ouvrages sont ainsi distingués en deux catégories, ceux qui nécessitent des interventions en tournée et les autres. Le calcul d'estimation du volume horaire prend donc en compte à la fois les interventions dites habituelles et les interventions dites ponctuelles. Cela représente un peu mieux la réalité du terrain. La formule est la suivante :

S'il y n'y a pas de ronde sur cet ouvrage :

$$NFDT = \frac{\text{Fréquence} * \text{nb d'agents} * \text{durée manoeuvre} + \text{trajet} * 2}{60}$$

Si en revanche il y a une ronde pour cet ouvrage :

$$NFDT = \frac{\text{Fréquence en ronde} * \text{nb d'agent} * (\text{durée} + \text{trajet ronde})}{60} + \frac{\text{Fréquence hors ronde} * \text{nb d'agents} * (\text{durée} + \text{trajet} * 2)}{60}$$

3.2.2. Le chantier 1.3

Le chantier 1.3 est un ancien projet du siège de VNF de classer l'ensemble des ouvrages du parc français, ouvrages GH et autres. La méthode a été expérimentée en 2013 sur l'ensemble du territoire mais n'a jamais été appliquée par la suite.

Elle consiste à évaluer chaque ouvrage sur 8 risques majeurs :

1. _ trafic commercial
2. _ trafic touristique
3. _ gestion hydraulique
4. _ conditions d'interventions des agents (dangerosité/pénibilité)
5. _ sécurité des riverains
6. _ sécurité des usagers de la voie d'eau
7. _ dégradation des fonctions de l'ouvrage par indisponibilité des ressources humaines
8. _ non-conformité environnementale

Chacun de ces 8 risques est évalué en fonction de deux paramètres : la probabilité du risque et sa gravité. En fonction du risque, probabilité et gravité ne sont pas évalués de la même manière. La méthode qui a été pensée au siège fournit donc des documents comme des tableaux de typologie d'ouvrages, des cartes d'aléas, l'état fonctionnel de l'ouvrage et des calculs. Les notes attribuées pour la probabilité et la gravité vont de 1 à 4, 1 étant la valeur « faible » et 4 la valeur « forte ».

Tous ces paramètres d'entrée une fois collectés devaient permettre d'attribuer une note pour chacun des risques sous forme d'une matrice à deux entrées, et la combinaison des 8 notes issus des 8 risques devait être interprétée par un guide méthodologique à destination des agents.

Le principal défaut de cette méthode et ce qu'il fait qu'elle est difficilement applicable sur l'ensemble des DT est qu'elle se base en grande partie sur l'état fonctionnel de l'ouvrage. Or cette information est fournie sur la base de données de VNF sur les ouvrages, BDO, qui souffre d'un cruel manque d'investissement et de mise à jour. Ainsi plusieurs ouvrages actuellement exploités par VNF n'y sont pas renseignés, d'autres quand ils le sont n'ont pas forcément leurs données à jour.

En principe, l'état fonctionnel d'un ouvrage est évalué par une ou plusieurs personnes qui effectuent une visite complète de l'ouvrage. L'ensemble est décomposé en plusieurs éléments qui font l'objet d'observations sur le type de matériaux, l'état de dégradation et des remarques annexes. Un formulaire type est rempli en fonction du type d'ouvrage et qui détaille la marche à suivre pour les agents, le contenu du formulaire est par la suite interprété via un outil intégré à BDO qui donne une note finale à l'ouvrage.

De 0 à 1 = Classe 1	De 1,01 à 2 = Classe 2	De 2,01 à 3 = Classe 3	De 3,01 à 4 = Classe 4
Pas ou peu de désordres	Désordres de faibles importances	Nombreux désordres, en majorité de faible importance	Désordres importants par leur quantité et leur dégradation
Bon état général	Désordres sans gêne pour la fonction assurée pour l'ouvrage	Ouvrage en mauvais état fonctionnel	Risque avéré de perte de fonctionnalité de l'ouvrage

Tableau 7 tableau détaillant les indices d'état fonctionnel pouvant servir à prioriser les interventions de maintenance

Cette évaluation permet d'estimer et d'orienter les travaux de maintenance sur le parc des ouvrages. Cependant la dernière campagne d'étude remonte à 2016 par Artelia et elle n'a pas été réalisée sur l'ensemble des ouvrages : 38 ouvrages uniquement sur 77 soit près de la moitié des ouvrages du CMR. Or, l'évaluation d'un ouvrage pour lui conférer une note d'état fonctionnel peut prendre plusieurs heures et il faut une formation adéquate. Il n'était donc pas possible durant le stage d'évaluer ces ouvrages.

Ainsi sur les 8 risques identifiés dans la méthode, 5 nécessitent l'évaluation de l'état fonctionnel sur l'ensemble du parc. Il reste donc 3 ouvrages : le risque sur les conditions de travail des agents, le risque lié aux dégradations des fonctions de l'ouvrage par indisponibilité des ressources humaines et celui sur la non-conformité environnementale. A propos de ce dernier, le thème ne concernait en rien la problématique du stage et nous avons donc pris la décision de ne pas considérer ce risque. Le risque lié à la dégradation des fonctions de l'ouvrage par indisponibilité des ressources est pertinent mais son évaluation se basait principalement via une cartographie des ouvrages sur différents thèmes comme le trafic commercial et touristique. Ces cartes, qui ont été réalisées en 2013 en même temps que la méthodologie devaient permettre d'apprécier la gravité d'un dysfonctionnement d'un ouvrage en

fonction de sa situation géographique sur la voie d'eau. Dans le cadre du stage, une demande a été effectuée au siège à Béthune pour avoir accès à ces cartes par l'aide du service de cartographie.



Figure 22 Carte de la méthode du chantier 1.3 sur la caractérisation de l'enjeu lié au fret

Il s'est avéré que ces cartes n'ont pas été mises à jour depuis leur création en 2013. De plus, il a été impossible de savoir dans quelles conditions ont été réalisées ces cartes, les critères utilisés et les sources d'entrées. C'est après avoir pris compte de tout ça que l'on a décidé de ne pas se baser sur le risque 7.

Comme il a été dit précédemment, les problèmes rencontrés pour les informations d'entrée n'ont pas permis à la méthode initiale avec l'ensemble des 8 risques de se mettre en place. Nous avons cependant opté pour adapter la méthode à notre cas en ne ciblant uniquement le risque 4 lié aux risques de conditions de travail des agents.

3.2.3. Le risque attaché aux conditions de travail des agents

Définition de la pénibilité des manœuvres

Après avoir consulté la méthodologie du chantier 1.3, un risque a attiré notre attention et c'est celui du risque lié aux conditions de travail des agents. En effet il est le plus pertinent et surtout il est applicable à cet itinéraire. La probabilité du risque consiste à déterminer la fréquence moyenne d'intervention sur une année et la gravité correspond à une note attribuée à l'ouvrage en fonction d'un tableau de typologie d'ouvrage. La combinaison des deux notes attribue, via une matrice à deux entrées, une note finale.

		Gravité				
		0	1	2	3	4
Probabilité		non concerné ou gravité nulle	négligeable	modéré	majeur	catastrophique
4	inévitable	5	16	20	23	25
3	très probable	4	12	17	21	24
2	possible	3	9	13	18	22
1	improbable	2	7	10	14	19
0	non concerné ou extrêmement improbable	1	6	8	11	15

Tableau 8 Matrice de notation du risque lié aux conditions de travail des agents

La qualité de cette évaluation est donc basée sur la définition même de l'ouvrage qui permet donc d'attribuer une note de « pénibilité ». Cette estimation de la pénibilité selon les ouvrages de VNF (écluses, barrages, vannes, ...) a donc été réalisée en premier lieu au niveau du siège.

Famille d'ouvrage	Nature	Mode d'exploitation	Gravité	Gravité corrigée
Barrage de navigation	Fixe		2	2
Franchissement de chute (petit gabarit)	Écluse	mécanisé	1	2
Système alimentaire	Station de pompage	mécanisé	1	1
Système alimentaire	Usine élévatoire	mécanisé	1	4

Tableau 9 Exemples d'ouvrages et leur note de gravité d'après la méthodologie du chantier 1.3, à droite la note correspondant particulièrement au CMR-branche EST

Ainsi chacun des ouvrages se voit attribuer une note dite de gravité qui va caractériser le caractère de pénibilité de l'ouvrage.

La gravité du risque peut être défini en ces termes :

Niveau	Explication
1	L'agent travaille en sécurité et est à l'abri du risque
2	L'agent s'expose à un léger risque de chute ou de blessure, il doit être sur ses gardes
3	La manœuvre nécessite une bonne condition physique et l'agent doit être vigilant
4	La manœuvre est pénible pour l'agent pour des raisons diverses, allant du bruit jusqu'au conditions d'accès. L'intervention si elle est fréquente nécessite un roulement

Tableau 10 Correspondances entre la situation professionnelle et la gravité du risque

Cependant, ces valeurs ont été choisies pour l'ensemble des DT et des voies navigables en France et correspondent donc à des valeurs moyennes. Ces notes peuvent donc être très éloignées de la situation du CMR et de ses ouvrages et il faut donc rester critique sur les valeurs renseignées.

On peut constater par exemple qu'ils considèrent une usine élévatoire des eaux comme étant un ouvrage dont la pénibilité est négligeable, cependant il y a une usine élévatoire des eaux à Gondrexange qui ne correspond pas à cette évaluation.

Il s'agit de l'usine élévatoire des eaux de Gondrexange qui permet d'alimenter l'étang de Gondrexange en complément des apports naturels du bassin versant. Son fonctionnement nécessite la présence en continu d'au moins un agent car les trois pompes datent de 1937 et demandent un apport régulier de graisses et d'huile toutes les 15 minutes. Il n'y a pas d'injecteur automatique car cela fonctionne avec des vis d'injection qu'il faut remplir et tourner régulièrement. Leur fonctionnement génère un bruit important qui impose le port d'un casque en continu.

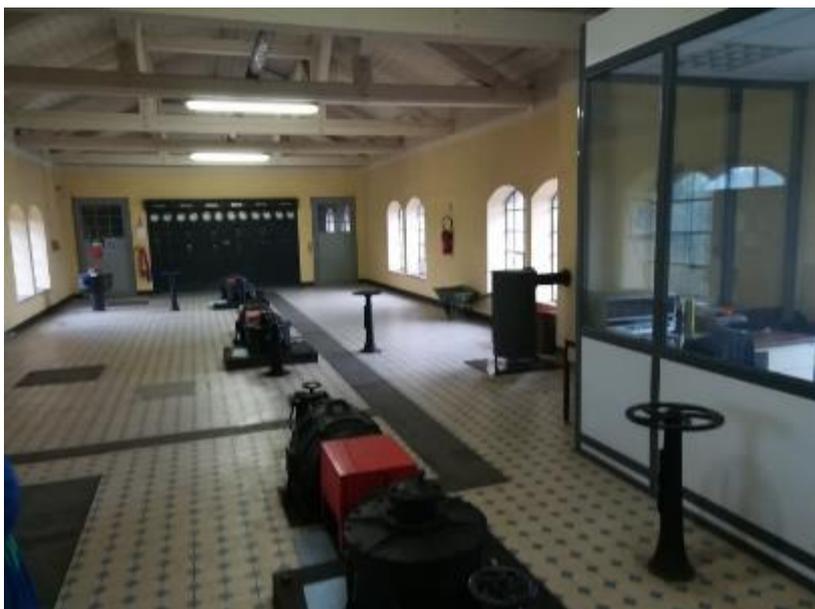


Figure 23 Intérieur de l'usine élévatoire des eaux de Gondrexange et ses trois pompes

Une journée d'alimentation peut durer près de 8 heures de pompage, ce qui veut dire aussi que l'agent doit rester 8 heures dans les locaux pour veiller sur les moteurs. C'est un exercice éprouvant qui est tel qu'un roulement est imposé dans les équipes de Gondrexange pour pouvoir faire fonctionner l'ensemble. En fonction des années, elle peut être mise en marche plusieurs jours ou plusieurs semaines avec mise en marche le week-end également pour pouvoir remplir l'Étang à son niveau d'exploitation pour le début de la haute saison. Cet ouvrage est donc très pénible à exploiter pour les agents.

Ainsi une correction est apporté à ce tableau de typologie en adaptant les notes aux ouvrages que l'on dispose sur le canal du CMR. Ainsi la note de l'usine élévatoire passe de 1 à 4. Les écluses elles aussi voient leur note passer de 1 à 2. En effet, la typologie du siège considère uniquement les opérations de navigation des écluses et non leur rôle dans la gestion hydraulique, la note de 1 reflète donc principalement les opérations de maintenance des écluses, ce qui ne constitue pas une tâche pénible en soi en comparaison aux autres interventions. Or les écluses du CMR-branche EST ont également un rôle de GH avec leurs vantes manuelles et il faut les considérer dans notre étude. La manutention de la vante et le nettoyage d'embâcles sont considérés comme des activités physiques qui nécessitent une vigilance de la part de l'agent à cause du risque de chute ou de blessures. Il faut garder également à l'idée qu'il s'agit d'ouvrages non couverts et que les agents peuvent intervenir par tout temps.

En appliquant ces corrections, le classement des ouvrages se voit amélioré.

3.2.4. Le classement final

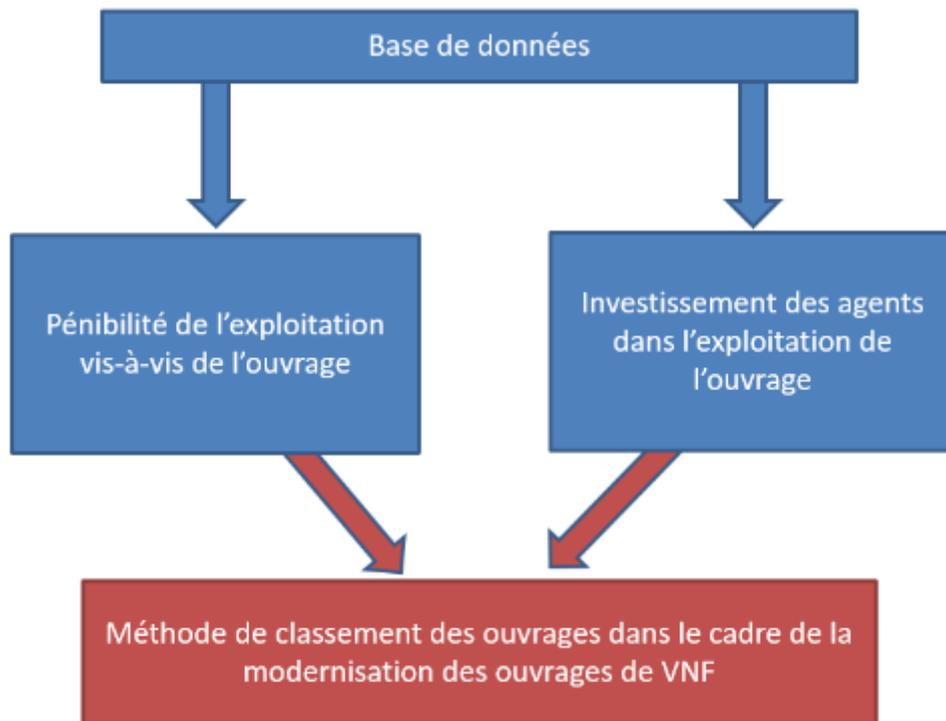


Figure 24 Schéma de principe de la méthode de classement des ouvrages

Après avoir élaboré ces deux méthodes d'évaluation, le choix a été fait de les considérer de manière équivalente pour obtenir une unique méthode de classement. Pour la méthode NFDT, le résultat est exprimé en heures par an et s'étend de 0 à 274 et pour la définition du risque liés aux conditions de travail des agents, il est exprimé par une valeur adimensionnelle qui va de 1 à 24. Il est donc décidé de normaliser les valeurs pour les deux méthodes et d'établir dans un premier temps la moyenne des deux pour chaque ouvrage.

$$\text{Résultat final} = \frac{\text{volume horaire NFDT}}{\text{valeur max volume horaire NFDT}} + \frac{\text{note pénibilité}}{\text{valeur max note pénibilité}}$$

2

Le classement final regroupe ainsi l'estimation du temps de travail des agents et leur condition de travail pour chaque ouvrage.

4. Résultats

4.1. Résultats du classement

Après application de la méthode sur les données d'exploitation des ouvrages, le classement final des ouvrages est le suivant :

	NFDT	conditions de travail	classement final	
nom de l'ouvrage	valeur (h)	valeur	note finale	rang
Ecluse 18	274	20	0.916	1
Prise d'eau de Lorquin	243	20	0.861	2
Prise d'eau de Nitting	243	20	0.861	2
Vanne de la prise d'eau 40	243	20	0.861	2
Usine élévatoire de Gondrexange	193	24	0.852	5
Vanne d'alimentation n°1 du bassin de compensation du Plan incliné	183	23	0.812	6
Vanne de la prise d'eau 26	183	21	0.771	7
Barrage à double clapet PE 18	183	20	0.750	8
Vanne de restitution du bassin de compensation du Plan incliné	183	20	0.750	8
Station de pompage de Diane-Capelle	180	20	0.745	10
Ecluse 47	183	13	0.604	11
Ecluse 48	183	13	0.604	11
Ecluse 49	183	13	0.604	11
Ecluse 50	183	13	0.604	11
Ecluse 51	183	13	0.604	11

Tableau 11 Synthèse des résultats pour les 15 premiers ouvrages

Seul les 15 premiers ouvrages sont révélés ici, le classement complet est révélé en **annexe 11**.

4.2 Discussion des résultats

De manière générale, les résultats correspondent avec une réalité d'investissement. En effet, la majorité des ouvrages qui se retrouvent dans le haut du classement font déjà l'objet de travaux de modernisation ou entrent dans une volonté d'être modernisé. Cela signifie que la méthodologie répond à la demande de VNF de distinguer les ouvrages à moderniser à partir de données d'exploitation.

nom de l'ouvrage	rang	État actuel
Ecluse 18	1	RAS
Prise d'eau de Lorquin	2	marché en cours
Prise d'eau de Nitting	2	marché en cours
Vanne de la prise d'eau 40	2	marché prévu
Usine élévatoire de Gondrexange	5	RAS
Vanne d'alimentation n°1 du bassin de compensation du Plan incliné (prise d'eau 18 depuis le bief de partage)	6	travaux déjà réalisé
Vanne de la prise d'eau 26	7	RAS
Barrage à double clapet PE 18	7	travaux déjà réalisé
Vanne de restitution du bassin de compensation du Plan incliné	9	travaux déjà réalisé
Station de pompage de Diane-Capelle	10	marché prévu
Ecluse 47	11	RAS
Ecluse 48	11	RAS
Ecluse 49	11	RAS
Ecluse 50	11	RAS
Ecluse 51	11	RAS

Tableau 12 État des lieux des ouvrages prioritaires

Parmi ces ouvrages, certains ont déjà fait l'objet de travaux de modernisation comme c'est le cas du barrage de la prise d'eau 18 et les vannes de restitution et d'alimentation du bassin de compensation. Dans ces cas, le travail d'exploitation des agents est assez conséquent sur ces ouvrages et il est comparable à l'exploitation de ces derniers avant la modernisation. En effet ces ouvrages sont censés être commandés par un dispositif automatisé qui actionnerait les trois ouvrages de sorte à maintenir un débit constant à restitution dans le bief 18. Cependant pour des raisons techniques, l'automate ne fonctionne pas car un des ouvrages a été mal dimensionné. Ce problème est en cours de résolution, cela dans l'intérêt de réduire les temps d'interventions dans ce secteur très sensible d'un point de vue de la gestion hydraulique.

Les 15 premiers ouvrages dans le classement sont considérés comme prioritaires et cela de manière arbitraire. Des cartes illustrent leur emplacement pour chaque circonscription en **annexe 5, 6 et 7**.

4.2.1 Test de sensibilité

Dans cette méthode, il a été considéré que le temps d'exploitation (méthode NFD) et l'évaluation du risque sur les conditions de travail est le même, donc des poids de 50 % chacun. Pour s'assurer que le choix d'avoir un poids identique pour les deux critères est pertinent, différentes configurations sont testées. Le classement qui a été réalisé est comparé avec une méthode où le temps d'exploitation est prépondérant et une autre où c'est le risque lié aux conditions de travail qui l'est. Pour cette comparaison, les 10 premiers ouvrages du classement initial ont volontairement été colorés en bleu.

Les ouvrages qui ne figuraient pas parmi les 10 premiers mais qui ont eu une note de 3 ou 4 pour la gravité du risque de pénibilité sont quant à eux en couleur jaune.

	Poids égal pour les deux critères	90 % de poids pour le temps d'exploitation (NFD) et 10 % pour les conditions de travail	90 % de poids pour les conditions de travail(NFD) et 10 % pour le temps d'exploitation
1	Ecluse 18	Ecluse 18	Usine élévatoire de Gondrexange
2	Prise d'eau de Lorquin	Prise d'eau de Lorquin	Vanne d'alimentation n°1 du bassin de compensation
3	Prise d'eau de Nitting	Prise d'eau de Nitting	Vanne de la prise d'eau 26
4	Vanne de la prise d'eau 40	Vanne de la prise d'eau 40	Ecluse 18
5	Usine élévatoire de Gondrexange	Usine élévatoire de Gondrexange	Prise d'eau de Lorquin
6	Vanne d'alimentation n°1 du bassin de compensation	Vanne d'alimentation n°1 du bassin de compensation	Prise d'eau de Nitting
7	Vanne de la prise d'eau 26	Vanne de la prise d'eau 26	Vanne de la prise d'eau 40
8	Barrage à double clapet PE 18	Barrage à double clapet PE 18	Siphon de La Plage
9	Vanne de restitution du bassin de compensation	Vanne de restitution du bassin de compensation	Siphon du Gros étang
10	Station de pompage de Diane-Capelle	Station de pompage de Diane-Capelle	Barrage à double clapet PE 18
11	Ecluse 47	Ecluse 47	Vanne de restitution du bassin de compensation
12	Ecluse 48	Ecluse 48	Station de pompage de Diane-Capelle
13	Ecluse 49	Ecluse 49	Vanne Pourcent
14	Ecluse 50	Ecluse 50	Barrage à vannes de l'Aar
15	Ecluse 51	Ecluse 51	Barrage à clapet PE 26
16	Vanne Pourcent	Ecluse 32	Siphon de Réchicourt
17	Siphon de La Plage	Ecluse 33	Vanne de fond n°2 de Gondrexange
18	Ecluse 32	Ecluse 34	Vanne de La Petite Creusière
19	Ecluse 33	Ecluse 35	Vanne segment
20	Ecluse 34	Ecluse 36	Ecluse 47

Tableau 13 Test de sensibilité réalisé sur les ouvrages en tête de classement

Pour la colonne avec un poids très fort pour le temps investi par les agents, le classement parmi les 10 premiers ouvrages n'a pas changé, seuls les ouvrages pénibles qui figuraient en 16^e et 17^e place sont descendu dans le classement. Il n'y a donc pas différence notable entre les deux pour ce qu'il est de mettre en avant les ouvrages prioritaires (les 15 premiers dans ce cas).

Dans la colonne où c'est le risque sur les conditions de travail qui disposait du poids le plus fort dans le calcul, il y a du changement. Les ouvrages présentant des risques avérés remontent parmi les ouvrages prioritaires. Ces ouvrages comme les siphons de l'étang de Gondrexange ou encore la vanne de La Petite Creusière sont des ouvrages qui sont reconnues comme étant difficiles à manœuvrer. Cependant, ils restent très peu souvent manœuvrés. Le siphon de La Plage est manœuvré une fois par semaine et la vanne de La Petite Creusière près d'une ou deux fois par an. Ce sont des ouvrages qui, malgré une modernisation avec une commande à distance ou par automate, ne constituerait donc pas un gain de temps important. Or, l'intérêt de la méthode est de permettre de mieux diriger les travaux de modernisation avec un budget d'investissement limité. Laisser trop de poids au risque lié aux conditions de travail peut faire « remonter » des ouvrages dont la modernisation serait trop peu pertinente.

Mettre plus de poids pour le temps d'exploitation n'est pas approprié, au vu des résultats affichés. Il y a peu de différences avec la méthode initiale.

Afin de prioriser les ouvrages de manière pertinente, le choix est fait de laisser les coefficients identiques pour les deux critères.

4.2.2. Analyse des résultats du calcul du volume horaire NFDT

Les temps d'exploitation des ouvrages sur l'ensemble du canal de la Marne au Rhin-branche EST nous révèlent la répartition des besoins d'exploitation sur la voie d'eau. Après avoir analysé cette répartition, ils semblent homogène sur l'ensemble du canal.

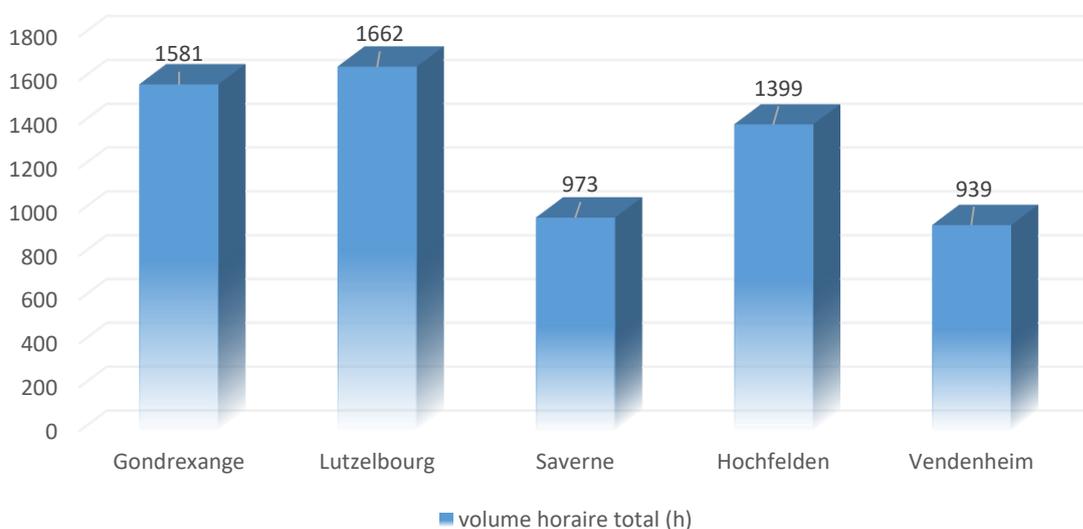


Figure 25 Temps d'exploitation des ouvrages GH par secteur du CMR

En théorie, les agents d'exploitation qui travaillent sur cet itinéraire totalisent chacun 1607 heures de travail par an. Le temps d'exploitation peut être représenté par un équivalent temps plein (ETP), c'est-à-dire que l'unité du temps devient un rapport avec le temps de travail standard d'un agent à plein temps. Pour l'ensemble des secteurs, cela ne dépasse pas 1 ETP.

Dans le cas de la circonscription de Gondrexange, il y a 9 agents. Il n'y a pas d'écluses et peu de travail lié à l'aide à la navigation pour les plaisanciers car il s'agit d'un grand bief où la navigation est très simple. La principale tâche des agents est donc de veiller à la bonne alimentation en eau du canal et

d'exploiter les divers organes de gestion hydraulique du secteur. Seulement le travail d'enquête dans le cadre ce stage ne s'est uniquement intéressé à la manipulation des ouvrages de gestion hydraulique. Toute la maintenance non spécialisée a donc été négligé dans l'inventaire des besoins d'exploitation.

Pour qu'un ouvrage puisse fonctionner, il faut veiller à le maintenir en état et il existe pour cela deux types de maintenance :

- ❖ La maintenance non spécialisée, il s'agit de l'ensemble des opérations qui ne nécessitent pas d'habilitation et qui peuvent donc être effectuées par les agents d'exploitation. Elle concerne principalement la « maintenance verte » avec l'entretien de la végétation, des berges et des rivières. Elle concerne également le remplacement des palplanches usagées, le graissage des moteurs, ...
- ❖ La maintenance spécialisée, comme son nom l'indique, nécessite l'intervention d'un spécialiste qui a une habilitation pour intervenir pour un élément précis comme l'électronique, la pneumatique, les moteurs, ...



Figure 26 tracteur avec bras mécanisé spécialisé dans la tonte de digues

Les agents, et ce pour l'ensemble des itinéraires, effectuent une maintenance non spécialisée des ouvrages sur l'année. Pour chaque ouvrage, ils veillent donc à limiter l'emprise de la végétation mais cela concerne également les digues (ce qui permet notamment de mieux observer l'apparition de fuites sur les digues). Ainsi la « maintenance verte » est conséquente dans la circonscription de Gondrexange car le bief de partage est très long (35 kms) et il faut également veiller à l'entretien des différents segments de cours d'eau dont VNF a la responsabilité comme à la Sarre Blanche, la Sarre Rouge, le ruisseau de Gondrexange et le ruisseau de Langatte. Il s'agit dans chaque cas de segments de quelques centaines de mètres dont l'établissement se doit de veiller à ce qu'il n'y ait pas d'embâcles majeurs. De plus, la rigole d'alimentation de la Sarre fait également l'objet d'une maintenance non spécialisée sur l'ensemble de son linéaire, soit un peu plus de 5 kms.

De plus, le territoire est dominé par les forêts et il faut fréquemment faire abattre les arbres trop proches des digues et ceux menaçant de bloquer les longs chemins de halage. Toutes ces opérations ne sont donc pas renseignées dans les volumes horaires de la méthode NFDT mais il s'agit néanmoins d'interventions nécessaires pour s'assurer que l'ouvrage reste opérationnel à tout moment. L'effectif

présent à Gondrexange travaille principalement sur ces opérations de maintenance non spécialisée et il convient donc de faire la distinction entre maintenance et manœuvre d'ouvrage dans le travail de gestion hydraulique du canal.

Ces opérations de maintenance sont également présentes sur les autres secteurs mais prennent une part moins importante dans le travail des équipes d'exploitation que pour la circonscription de Gondrexange.

4.2.3. Impact du temps de déplacements chez les agents

En analysant les données issues de l'enquête sur le terrain, il semble que les déplacements mobilisent un temps important pour les équipes d'exploitations. Ainsi en se concentrant uniquement sur le travail de gestion hydraulique et en distinguant le travail d'exploitation et les trajets nécessaires pour les agents, il paraît évident les déplacements en voiture prennent une part très importante dans certains secteurs.

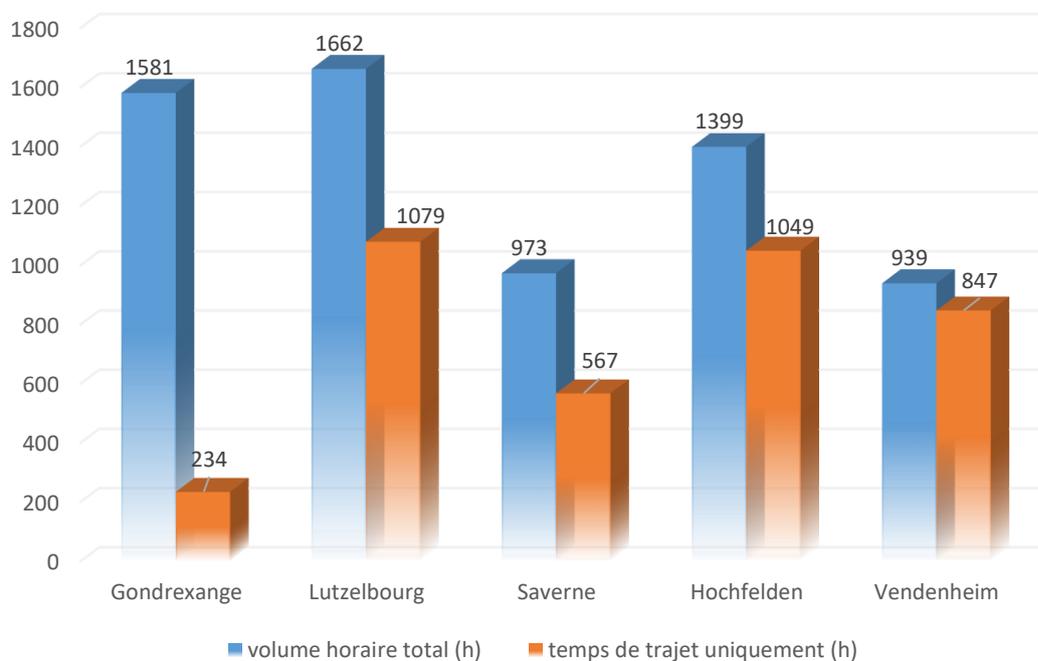


Figure 27 chiffres sur les temps d'exploitation et temps de trajet des agents

Notamment à Hochfelden et Vendenheim, les agents quand ils sont en tournée « d'exploitation GH » pour manœuvrer des vannes et surveiller la présence d'embâcles principalement peuvent passer jusqu'à **90 %** de leur temps en voiture. En effet dans ce secteur les biefs sont très longs et peuvent atteindre près de 5 kilomètres pour certains. La proximité avec l'agglomération strasbourgeoise induit donc des troubles dans la circulation sur les routes et la fréquentation importante des pistes cyclables gêne également la circulation des agents. C'est une remarque qui était très appuyée par les agents, qui mentionnaient notamment une sollicitation plus importante de la tournée du soir, les faisant souvent rentrer en retard lors de la haute saison touristique.

Au contraire sur le secteur de Gondrexange, la part des transports représente près de **15 %** du travail de GH des agents. Ce résultat s'explique par le fait que la plupart des manœuvres sur les ouvrages sont plus longues qu'ailleurs. C'est le cas avec notamment l'usine élévatrice des eaux de Gondrexange, les

déversoirs à palplanches, les vannes guillotines non mécanisées, ... De plus ces ouvrages sont dans l'ensemble regroupés dans un secteur proche du PC de Gondrexange dans une région où les routes ne sont pas très fréquentées, ce qui ne perturbe pas le déplacement des agents.

5. Propositions

5.1. Choix des ouvrages

Après avoir pris en compte les opérations en cours, 7 ouvrages ont donc été retenus car ils ne font à priori l'objet d'aucun projet actuellement par VNF. Il s'agit dans l'ordre de :

- L'écluse 18
- L'usine élévatoire des eaux de Gondrexange
- Vanne de la prise d'eau 26
- Les écluses 47 à 51

Les écluses 47, 48, 49 et 51 se situent à la 11^e place du classement. Cette position est due à leur accessibilité car ils sont situés en périphérie de l'Eurométropole de Strasbourg et les temps d'accès depuis le bâtiment de Vendenheim peuvent être considérablement augmentés, notamment pour la ronde de fin de journée qui intervient aux alentours de 18 heures. C'est donc le temps de déplacement qui majore le résultat et une solution pourrait être de piloter à distance l'ouverture des vannes, depuis un PC situé à Hochfelden par exemple.

Cependant, cet aménagement impliquerait un lourd investissement et il a donc été choisi délibérément de ne pas proposer cet aménagement dans le cadre de travail du stage. Néanmoins cela a été discuté au cours de la période du stage lorsque les résultats ont été révélés et pourrait faire l'objet d'un marché d'automatisation.

5.2. Choix des aménagements

Après avoir révélé les ouvrages qui nécessitent en priorité des interventions et qui ne font l'objet d'aucun investissement actuellement, nous allons proposer des aménagements possibles afin de réduire le temps passé par les agents sur ces ouvrages et améliorer leur condition de travail.

5.2.1. L'écluse 18

L'écluse 18 est un ouvrage particulier car il s'agit de la première écluse juste après le plan incliné d'Arzviller et comme il a été expliqué, la vanne est souvent sollicitée. Ceci va demander un temps important dans l'année pour son exploitation. De plus, la manipulation de la vanne n'est pas sans risque comme le mentionne un rapport technique publié récemment au mois de Mai **[12]**.

Il est donc proposé d'automatiser la vanne amont actuellement manuel de l'écluse 18 pour éviter les interventions. Néanmoins, la possibilité est laissée à l'agent de manipuler directement la vanne par le biais de l'automate.

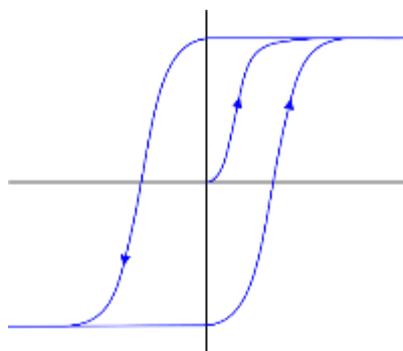
Chaque écluse de l'itinéraire est équipée d'un automate et d'un IHM (interface homme-machine). Les racks de connexion permettent encore d'y brancher des entrées et sorties en TOR (tout ou rien), cela permettra d'économiser l'achat d'un automate supplémentaire au niveau de l'écluse. L'idée est donc d'exploiter la donnée en continu de la hauteur du bief 18 afin d'asservir l'ouverture de la vanne.

L'aménagement consiste donc à placer un servomoteur (moteur actionnant un mécanisme comme le mouvement de la manivelle par exemple) sur l'organe de manœuvre de la vantelle (le cric) et le relier à l'automate de l'écluse. Un capteur radar existe déjà sur le bief 18 pour relever la cote du canal, une connexion sera donc réalisée de l'automate au capteur.



Figure 28 A gauche, un IHM présent dans chaque écluse (l'automate est derrière) et à droite un agent travaille sur la vantelle de l'écluse 18

La régulation du bief consiste donc à ouvrir et fermer la vantelle afin de maintenir une cote de consigne, dans notre cas 2,32 mètres. Il faut cependant veiller à ce que la commande de la vanne ne soit pas trop fréquente et qu'elle ne s'active pas pour le moindre écart. Ainsi le bureau d'études qui sera responsable de la programmation de l'automatisme devra veiller à ce qu'il y ait une hystérésis importante. De plus, il faudra faire une étude approfondie de la dynamique du bief 18 pour optimiser l'asservissement de la vantelle.



Utiliser une hystérésis pour la commande de la vantelle permet de disposer d'une « inertie » qui réduirait le nombre de manœuvres du servomoteur. L'idée est de temporiser chaque action effectuée sur la vantelle. Les bilans en eau du bief doivent également être simulés par l'automate sur des durées longues pour « lisser » les variations et faire ressortir les tendances, ou besoins réels.

Figure 29 Courbe d'un phénomène avec hystérésis, l'inertie fait que le niveau d'eau ne varie pas de la même manière si la vanne s'ouvre ou se ferme

Des manipulations exceptionnelles devront être permises pour les agents en cas d'incident ou autres problèmes. Dans l'ordre de priorité, les interventions sur les ouvrages automatisés se font en trois stades :

1. La manœuvre se fait à distance par l'outil de supervision TOPKAPI via une interface de saisie
2. La manœuvre est mécanisée via l'utilisation de l'IHM de l'automate de l'écluse
3. La manœuvre est manuelle via l'utilisation d'une manivelle, le servomoteur employé permet à un agent de mobiliser le dispositif à cric.

Ainsi il y a toujours une solution pour régler la vanne quel que soit le degré de risque rencontré

5.2.2. L'usine élévatoire des eaux de Gondrexange

Actuellement, il y a un roulement qui est effectué pour éviter qu'un même agent ne s'y rende trop souvent et qui est dicté par le chef d'équipe.

Au vu des conditions de travail pour l'agent qui doit veiller au fonctionnement des pompes et leur graissage, il paraît judicieux de réfléchir à un aménagement pour remplacer le groupe de moteurs.

Une proposition d'aménagement est la mise en place de trois vis d'Archimède de sorte à obtenir le débit nominal de 2.5 mètres cubes par secondes qui est fourni dans l'actuelle usine élévatoire des eaux de Gondrexange. Chacune de ces vis aurait une puissance d'exploitation de 110 kW, soit 330 kW pour les trois. L'aménagement consiste donc à installer trois vis en parallèle à proximité du bâtiment actuel :

L'avantage de l'aménagement porte sur :

- ✚ L'autonomie des moteurs et des vis qui nécessite un graissage mensuel avec un grand réceptacle à graisse. Il n'y aura donc plus d'agent mobilisé à la journée.
- ✚ La réduction de la consommation électrique. En faisant l'hypothèse d'un prix de l'électricité à 15 centimes le kWh, la consommation électrique des deux pompes pour une journée de pompage de 8 heures sera de 396 € au lieu de 500 € en moyenne par jour pour le système actuel. C'est donc une réduction théorique de près de 20 % de la facture d'électricité. Il est possible également envisager des fonctionnements de nuit pour réduire la facture d'électricité.

La nuisance sonore lors de la mise en marche des vis constitue l'inconvénient majeur. Une maison se situe à proximité du site et une réflexion doit être faite pour éviter que le fonctionnement des vis nuise aux habitants.

5.2.3. Vanne de la prise d'eau 26

Il s'agit d'une prise d'eau majeure sur le CMR-branche EST qui fait l'objet d'interventions quotidiennes. Un barrage à clapet automatisé permet de maintenir un niveau d'eau minimal dans la Zorn par consigne, ce qui permet à l'eau de déboucher dans une conduite avec un débitmètre qui débouche dans le canal. Cependant la conduite est régulée par une vanne papillon manuelle et il faut une clé « en T » pour la régler. Ainsi quand l'agent arrive sur place, il ouvre le poste de l'automate et lit la valeur du débitmètre. En fonction, il va faire une première manutention sur la vanne puis revient à l'automate et attend que le débit au niveau de la conduite se stabilise en lisant la valeur de l'automate. Il faut attendre en général près d'une minute avant que l'écoulement devienne permanent et que le débit se maintienne dans une fourchette précise. Cette opération est répétée jusqu'à que la valeur du débitmètre corresponde à la valeur voulue par l'agent. Opération qui peut prendre jusqu'à une vingtaine de minute pour l'agent.

Avec les travaux de mécanisation du barrage de la prise d'eau, un automate a donc déjà été installé et l'automatisation de la vanne avait été envisagé mais pas réalisé. Il y a donc un rack de disponible pour une sortie supplémentaire. Cet aménagement récent facilite l'automatisation de la vanne de la prise d'eau en installant un servomoteur sur la vanne et en faisant la connexion avec l'automate.

Comme pour la vantelle de l'écluse 18, la vanne pourra être pilotable à distance avec la supervision TOPKAPI et pourra également être manipulée par l'IHM sur place ou encore manuellement avec la manivelle dans le pire des cas.

5.3. Chiffrages

Dans l'objectif de donner un ordre de grandeur aux aménagements proposés, il est proposé d'estimer les coûts liés aux travaux. Cela permettra de donner un cadre aux responsables afin de mieux estimer l'ampleur des travaux à réaliser.

Étant donné la similarité des travaux à réaliser sur la vantelle de l'écluse 18 et la vanne de la prise d'eau 26, les aménagements sont regroupés dans un marché commun.

Pendant la période du stage, un marché public est en cours avec la société mosellane Starck pour mécaniser et automatiser des vannes dans le cadre de la modernisation de la gestion hydraulique. Il s'agit dans ce marché du même travail de modernisation que pour notre proposition, c'est-à-dire qu'il est question de mécaniser des vannes qui sont actuellement actionnées manuellement et de mettre en marche un programme d'automatisation avec un automate relié aux servomoteurs. Le marché en question s'articule en forfaits, c'est-à-dire que le maître d'ouvrage commande au maître d'œuvre des sous-ensembles de travaux et interventions organisés par thèmes, ou forfaits. Les forfaits sont les suivants : études d'exécution, réalisation des travaux, formation des agents et documentation finale.

Les divers documents du marché dont le bordereau des prix et l'estimation des forfaits ont permis d'avoir un repère pour estimer le montant des travaux. Ainsi nous avons pu chiffrer les aménagements à exécuter pour l'écluse 18 et la vanne de la prise d'eau 26. Le montant lié à la réalisation des travaux était initialement de 61300 € TTC mais il concernait un ensemble de 5 vannes à automatiser avec un seul automate. Nous avons fait le choix de simplifier la démarche en ajustant le montant du coût des travaux proportionnellement au nombre de vanne à automatiser. Concernant les études d'exécution, les frais déclarés dans le marché en exemple ne comprenaient pas l'étude de l'hydraulique du bief 18.

La réalisation des travaux comprend dans notre cas la pose d'un automate avec IHM auprès de la prise d'eau 26. Étant donné le marché qui sert de référence en comprend 1 également, le calcul consiste à soustraire le coût de cet automate, soit 4900 € d'après l'entreprise, et à rapporter le coût restant aux deux vannes. Le chiffrage de la partie travaux est donc de 16040 € (somme que l'on arrondit à 16000 €).

Noms des ouvrages	Études d'exécution	Réalisation des travaux	Formation agents	Documentation finale	Total
Écluse 18 et vanne prise d'eau 26	15 000 €	16 000 €	700 €	600 €	32 300 €

Tableau 14 Chiffrage estimatif des travaux sur l'écluse 18 et la prise d'eau 26

Pour l'usine élévatoire des eaux de Gondrexange, le chiffrage est beaucoup plus complexe. En effet, VNF n'a pas remplacé de tels ouvrages depuis plusieurs décennies et les montants affichés de l'époque ne peuvent être comparables à la situation actuelle (changement de monnaie et inflation). Il faut également considérer que la pose de tels ouvrages se fait au cas par cas en tenant compte de la situation globale comme la topographie, la limitation du bruit dans la journée (les vis sont très bruyantes), ...

L'accès des sociétés de travaux sur le site doit être prise en compte également. Le seul accès pour se rendre sur site est un chemin de halage étroit sur une digue. Dans un premier temps il y a une problématique de poids sur un ouvrage de retenue d'eau, il faudra certainement réaliser une étude d'impact sur site pour décider si il est faisable d'amener le matériel sur la digue et de quelle manière (fréquence et nombre de convois, poids critique).



Figure 30 Chemin de halage dans le secteur de Gondrexange

Une autre solution consiste à utiliser une péniche de chantier pour le ravitaillement, cette technique utilise ainsi la voie d'eau. Cela a déjà été employé à plusieurs reprises, notamment lors du chantier du quai des Pêcheurs à Strasbourg en mai 2019 en collaboration avec l'Eurométropole et l'entreprise Eurovia. Une péniche chargée avec 200 tonnes de pavés a pu décharger sa cargaison sur le quai et délester les routes strasbourgeoises d'une telle cargaison. Cette solution technique pourrait convenir dans le cas d'un chantier à réaliser dans un secteur difficile d'accès.

Nom de l'ouvrage	Montant des travaux
Usine élévatoire des eaux de Gondrexange	Difficile à estimer, les travaux pourraient bien s'élever à plusieurs centaines de milliers d'euros pour installer un nouvel ouvrage

Tableau 15 Chiffrage estimatif des travaux pour la station de pompage

5.4 propositions managériales

En plus de la réflexion menée sur les investissements à réaliser sur les ouvrages existants, il est également pertinent dans le cadre de ce stage de s'interroger sur la manière dont le travail est réparti au sein des équipes de l'itinéraire du CMR-branche EST.

Comme il a été démontré dans ce rapport, le travail des agents de terrain est diversifié et la gestion hydraulique est une des compétences associées au travail d'exploitation, tout comme la maintenance non spécialisée et la navigation. À propos de la maintenance non spécialisée, il s'agit d'une compétence importante en termes de ressource, mais néanmoins essentielle pour le maintien de la navigabilité du CMR-branche EST. Les agents exerçant essentiellement une maintenance, dite verte, pourront donc être amenés à travailler la gestion hydraulique en plus. Dans l'ensemble des secteurs, il a été révélé que la part de gestion hydraulique est faible dans le travail des équipes d'exploitation.

En parallèle, la modernisation des ouvrages a déjà commencé depuis quelques années et se poursuit. Ainsi le travail attaché à la GH du CMR branche-EST évolue, les manipulations d'ouvrages deviennent moins pénibles et prennent moins de temps pour les équipes.

Ces deux tendances peuvent amener à s'interroger sur l'organisation des équipes d'exploitation. Ainsi en maintenant l'effectif sur l'ensemble du canal, une réorganisation des équipes pourrait permettre d'optimiser la GH et le travail général des agents.

Une solution pourrait être la création d'une équipe gestion hydraulique sur l'ensemble du canal. Cette équipe, avec un effectif adapté à la voie d'eau, aurait une vision d'ensemble sur le canal. Les autres agents seraient finalement répartis dans les différentes circonscriptions avec des rôles principalement axés sur la maintenance du linéaire (ou verte) et la navigation. Ces derniers se concentreraient uniquement sur leur travail, laissant la manipulation des organes d'alimentation à l'équipe de GH. L'équipe constituée serait donc composée de patrouilleurs effectuant ainsi une tournée sur l'ensemble du linéaire. Le temps de trajet, aussi important qu'il est, serait rentabilisé par le nombre important de manipulations effectuées. En même temps, des agents situés à un PC (exemple du PC du plan incliné) pourront piloter la GH à distance sur certains ouvrages et recevoir des alertes par GSM ou liaisons filaires.

C'est ainsi que le temps passé à la GH sur l'ensemble du linéaire pourrait ainsi être nettement réduit. Cette répartition des effectifs pourrait permettre d'améliorer sensiblement la disponibilité des agents pour les navigants et donc parfaire la qualité du service.

Conclusion

L'objectif du stage qui consistait à diagnostiquer les besoins en exploitation pour prioriser les ouvrages dans le cadre de la modernisation de VNF, a été atteint. Le classement final a pu révéler des ouvrages qui font actuellement l'objet de plans d'investissement de la part de VNF ou qui sont en réflexion pour de futurs aménagements. La méthode de priorisation met en relief des ouvrages et des pratiques qui nécessitent un investissement important de la part des agents mais également des trajets qui prennent une part importante de leur travail.

Dans l'ensemble, les informations liées aux besoins en exploitation qui ont permis l'élaboration de ce classement ont également permis de mieux connaître le quotidien des agents de terrain et la réalité de la gestion hydraulique. Des informations ont même permis de renseigner l'état d'ouvrages qui n'étaient jusque-là pas suffisamment renseignés dans BDO.

Le travail de collecte d'informations a été très intéressant car il permet de comprendre les effets que peuvent avoir les politiques de réorganisation et de modernisation de la fonction publique. Les agents de terrain travaillent au quotidien sur les voies d'eau et s'adaptent aux changements importants qu'on peut constater dans les voies navigables. Ce travail de stage a donc été enrichissant car il a été possible de réfléchir aux stratégies de l'établissement pour la modernisation mais aussi à l'application sur le terrain et les conséquences sur le travail des agents.

Le contexte social dans lequel le stage s'est effectué s'est fait ressentir dans mon approche avec les équipes d'exploitation. La réduction des effectifs et la modernisation des ouvrages et des pratiques impactent le travail des agents et leur quotidien. La modernisation a eu des conséquences importantes sur les manières de travailler des agents et leurs habitudes. C'est dans ce contexte que mes questions et mon travail d'enquête ont été préparés de sorte à montrer aux agents que ce travail allait dans leur sens, pour améliorer leurs conditions de travail en réduisant la pénibilité des manœuvres et en leur évitant des déplacements qui peuvent être fatigants.

Ce travail a été également très enrichissant car une réflexion a été portée sur les structures humaines, en plus du parc hydraulique existant. Dans les entreprises et organisations actuelles, la modernisation porte à la fois sur le management et les structures, mais également sur les ouvrages. Le stage à VNF a donc permis d'approcher des thématiques que je pourrais rencontrer à l'avenir sur le terrain.

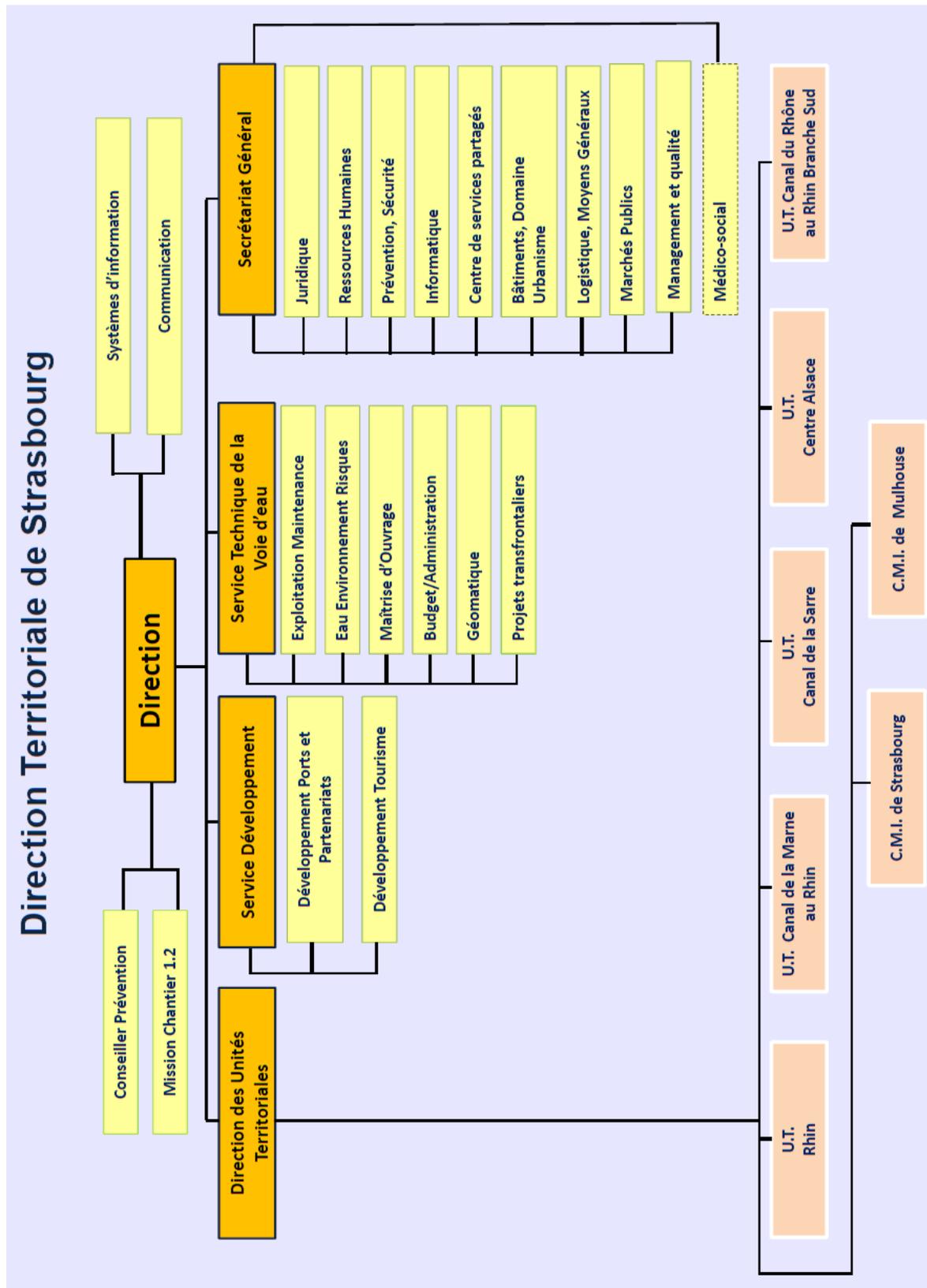
La méthode ayant été approuvée en interne, elle pourrait donc par la suite servir sur d'autres itinéraires de la DTS. L'intérêt de la méthode qui a été élaborée est d'être facilement reproductible et de pouvoir aider les agents qui travaillent à identifier les priorités d'interventions dans le cadre de la modernisation des ouvrages.

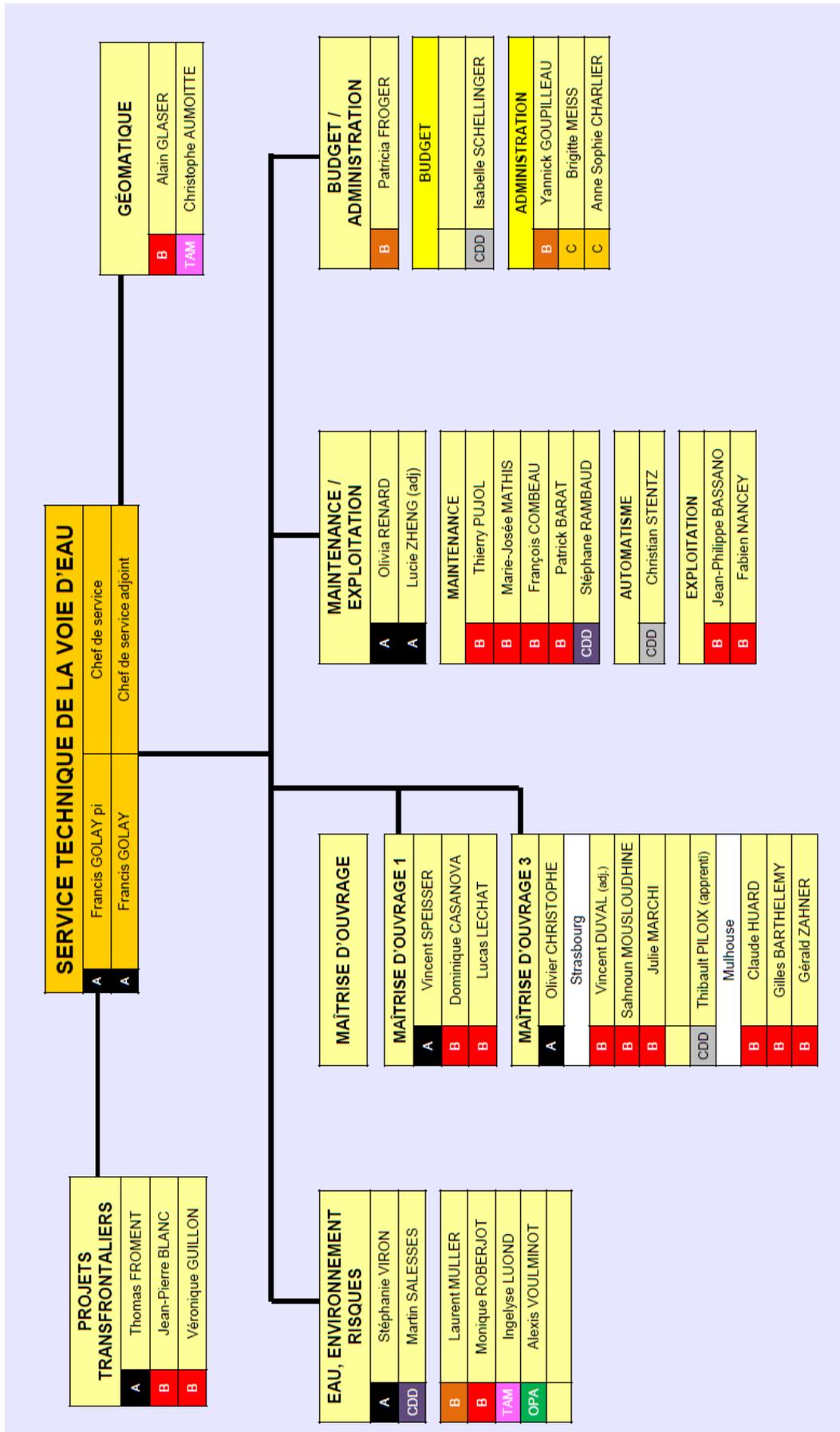
Bibliographie

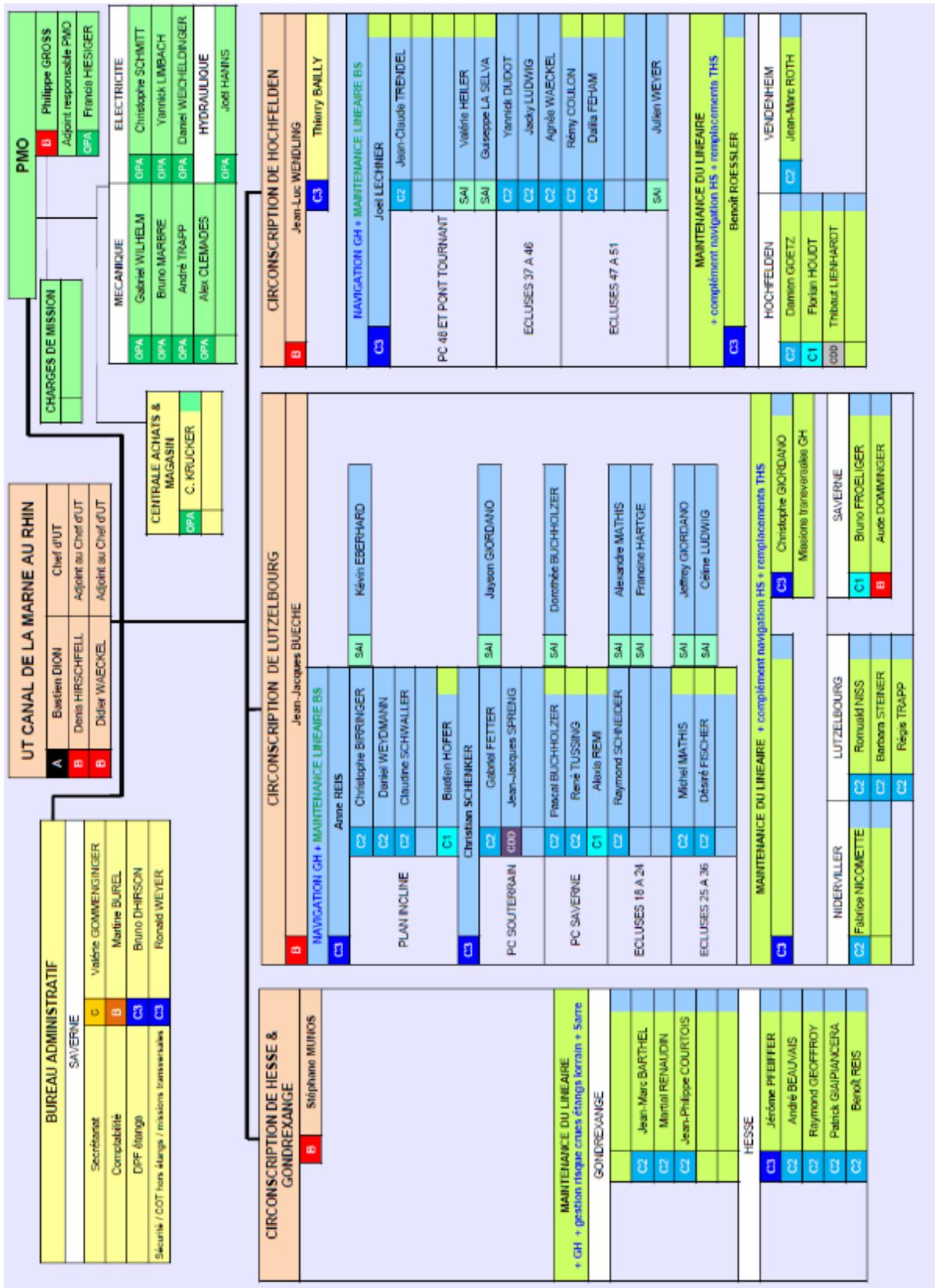
- [1] WLODARCZYK D. **Gestion de la ressource en eau, Service de la Navigation de Strasbourg.** Mémoire de DESS « Gestion de l'environnement : Eau, Sol, Sous-sol », septembre 1994.
- [2] VNF. **Référentiel des activités de la gestion hydraulique, Édition 2018.** Document interne, mars 2018
- [3] VNF. **Lexique de la gestion hydraulique, Édition 2016.** Document interne, avril 2016
- [4] HYDRATEC. **Étude de connaissance et d'amélioration du fonctionnement hydraulique du réseau de la DTS-Tranche conditionnelle 1 : Canal de la Marne au Rhin, Canal de la Sarre ; Rapport de phase 1 : Connaissance du fonctionnement hydraulique du secteur.** Avril 2014
- [5] HYDRATEC. **Étude de connaissance et d'amélioration du fonctionnement hydraulique du réseau de la DTS-Tranche conditionnelle 1/ phase 2 : Canal de la Marne au Rhin, Canal de la Sarre ; Rapport de phase 2 de la TC1.** Avril 2014
- [6] VNF. **Chantier 1.3- Guide utilisateur « Analyse de risques sur les ouvrages VNF ».** Document interne, 2013
- [7] VNF. **Guide pour l'instrumentation des prises d'eau.** Document interne, avril 2011
- [8] SERVICE TECHNIQUE CENTRAL DES PORTS MARITIMES ET VOIES NAVIGABLES. **La supervision des ouvrages automatisés.** Document interne, avril 1995
- [9] COYNE ET BELLIER. **Alimentation du canal de la Marne au Rhin et du canal des Houillères de la Sarre.** Document interne, janvier 1996
- [10] VOIES NAVIGABLES DE FRANCE. **Restauration du canal de la Marne au Rhin, diagnostic et enjeux.** Document interne, novembre 1998
- [11] Fritz J. **Étude du bilan hydrique de l'alimentation en eau du canal de la Marne au Rhin, entre le plan incliné d'Arzwiller et Strasbourg.** Mémoire de DESS Gestion Intégrée des Ressources en Eaux Continentales, septembre 2002
- [12] VOIES NAVIGABLES DE FRANCE. **Activités d'exploitation-Utilisation des manivelles : Comment améliorer les conditions de travail ?** Rapport d'activité de VNF, mai 2019.
- [13] VOIES NAVIGABLES DE FRANCE. **2017 : Bassin du Rhin, chiffres clés.** Rapport d'activité de VNF, juin 2018.
- [14] SERVICE DE LA NAVIGATION DE STRASBOURG. **Le plan incliné transversal d'Arzwiller-Saint – Louis remplace 17 écluses.** ÉDITIONS DE LA NAVIGATION DU RHIN, septembre 1980.
- [15] Entreprise RONCUZZI. **Pompes à eau à vis d'Archimède.** Documentation de l'entreprise RONCUZZI, octobre 2013.

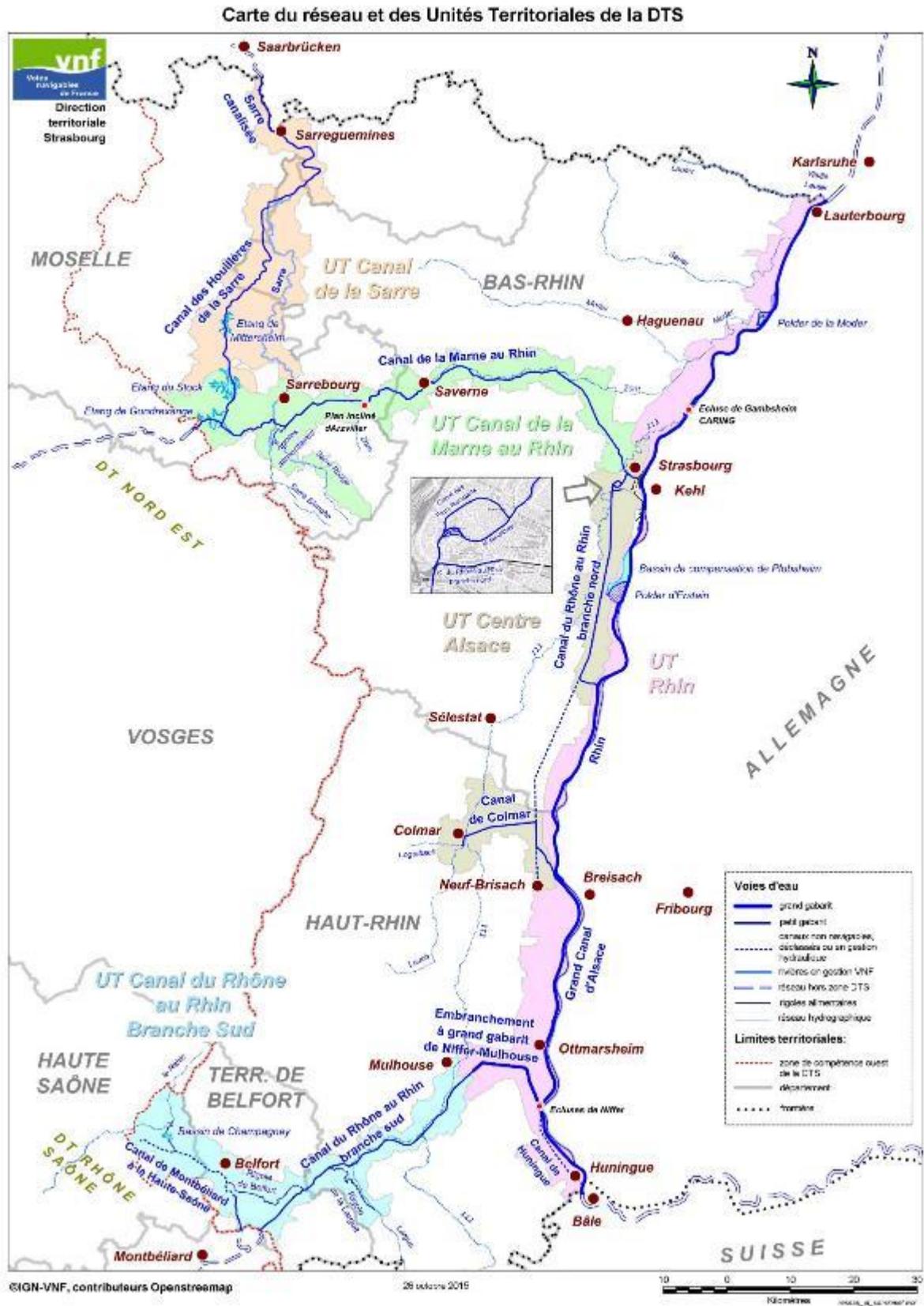
Annexes

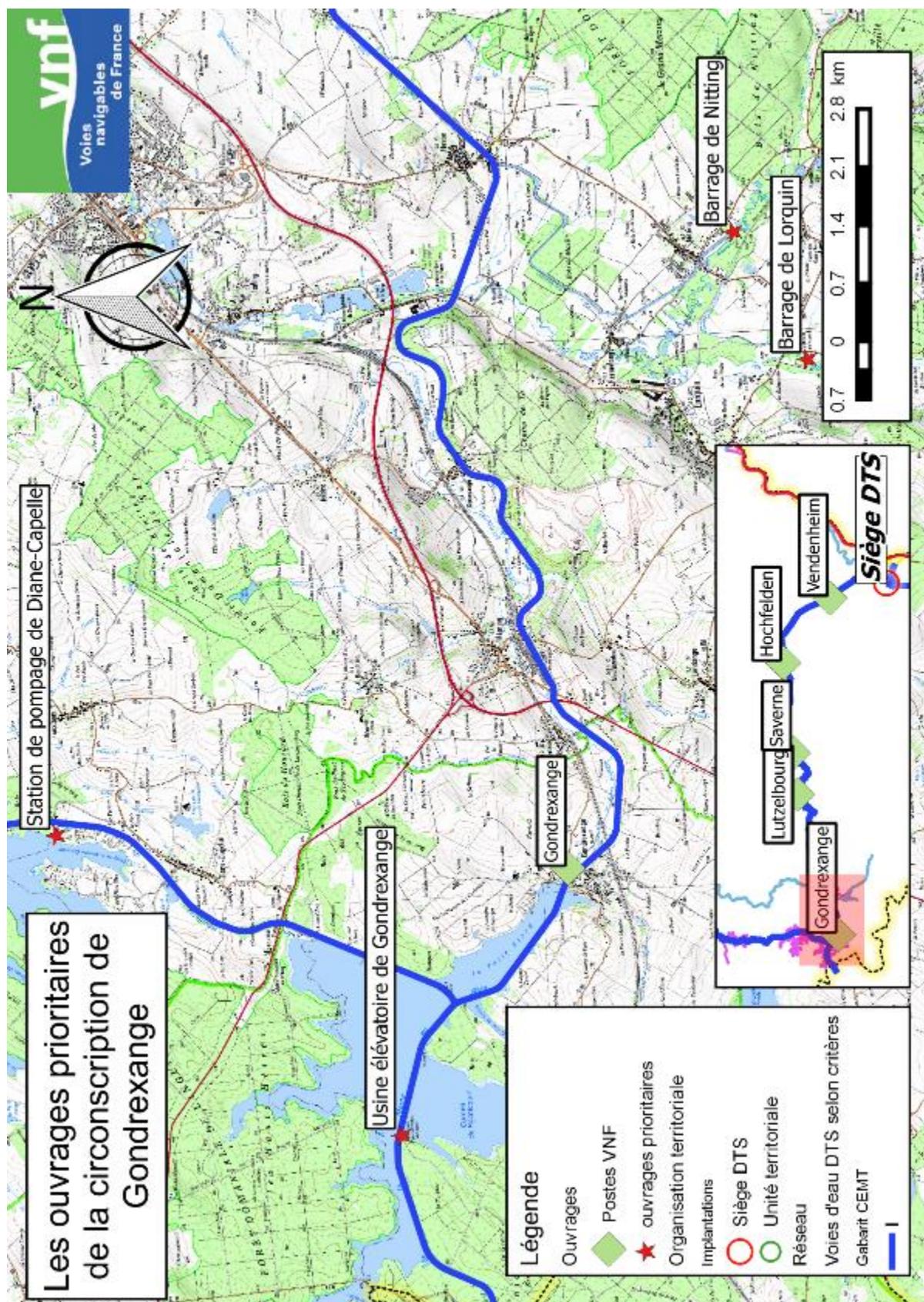
ANNEXE 1 ORGANIGRAMME DE LA DIRECTION TERRITORIALE DE STRASBOURG	61
ANNEXE 2 ORGANIGRAMME DU SERVICE TECHNIQUE DE LA VOIE D'EAU	62
ANNEXE 3 ORGANIGRAMME DE L'UNITE TERRITORIALE DU CMR.....	63
ANNEXE 4 CARTE DETAILLEE DE LA DTS (DOCUMENT INTERNE)	64
ANNEXE 5 CARTE DES OUVRAGES PRIORITAIRES DANS LA CIRCONSCRIPTION DE GONDREXANGE	65
ANNEXE 6 CARTE DES OUVRAGES PRIORITAIRES DE LA CIRCONSCRIPTION DE LUTZELBOURG	66
ANNEXE 7 CARTE DES OUVRAGES PRIORITAIRES DANS LA CIRCONSCRIPTION DE HOCHFELDEN	67
ANNEXE 8 CARTE DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN-BRANCHE EST (DOCUMENT INTERNE A VNF, FEVRIER 2017)	68
<i>ANNEXE 9 LA SUPERVISION DES OUVRAGES ET L'OUTIL TOPKAPI</i>	70
ANNEXE 10 LE CAS PARTICULIER DE L'UTILISATIONS DE MANIVELLES	71
ANNEXE 11 CLASSEMENT DES OUVRAGES DE GESTION HYDRAULIQUE DU CMR-BRANCHE EST.....	72
ANNEXE 12 ÉTANG DE GONDREXANGE AVEC LA CORNEE DE LA PLAGE AU PREMIER PLAN, LA CORNEE DU NEUF ÉTANG EST EN ARRIERE-PLAN	75
ANNEXE 13 REFOULEMENT DE L'USINE ELEVATOIRE DE GONDREXANGE ET EN ARRIERE-PLAN LA CORNEE DU GROS ÉTANG	75
ANNEXE 14 VANNE "POURCENT" AU PREMIER PLAN ET STATION DE POMPAGE A GAUCHE	76
ANNEXE 15 DIGUE DE L'ÉTANG DU STOCK ET SIPHONS AU PREMIER PLAN.....	76
ANNEXE 16 PORT DE PLAISANCE A SAVERNE.....	77
ANNEXE 17 PC DE GONDREXANGE ET MINITEL QUI PERMET DE MANIPULER LES BARRAGES DE NITTING ET LORQUIN	77
ANNEXE 18 PC DE VENDENHEIM ET POSTE SPECIFIQUE AU PONT TOURNANT	78
ANNEXE 19 EXEMPLE DE MAINTENANCE SPECIALISEE : UN CHAUDRONNIER TRAVAILLE SUR UNE VANTELLE...	78

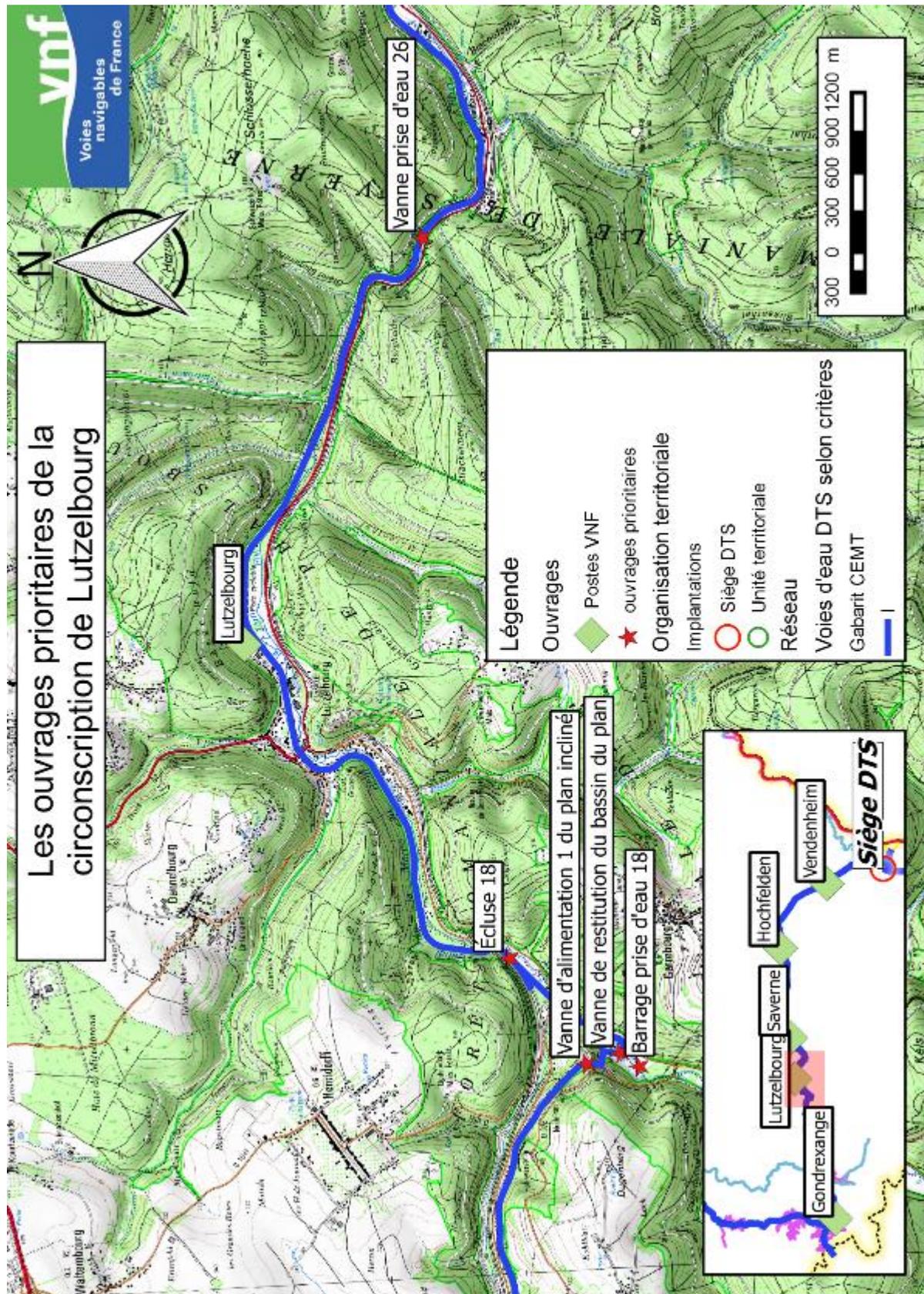


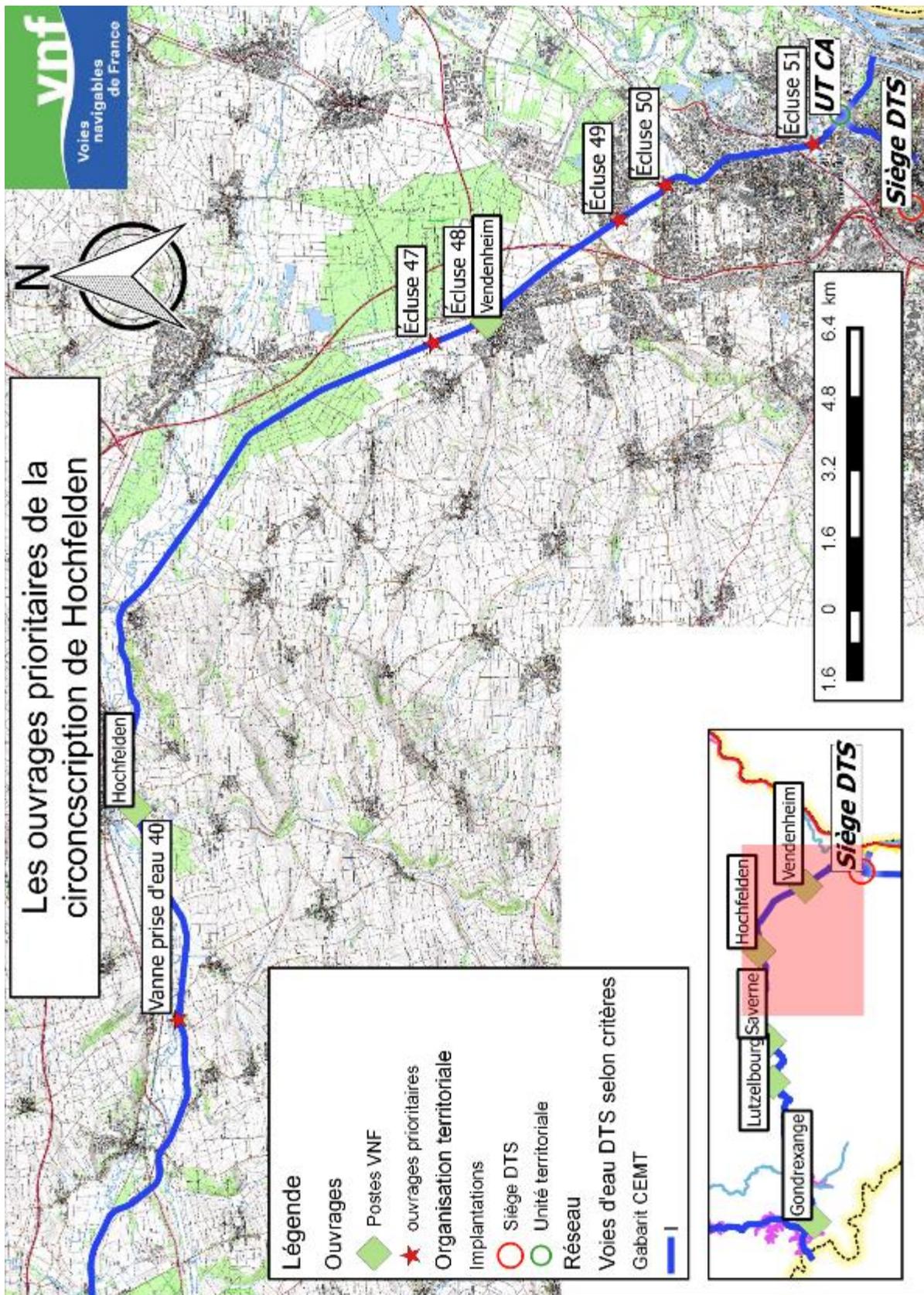




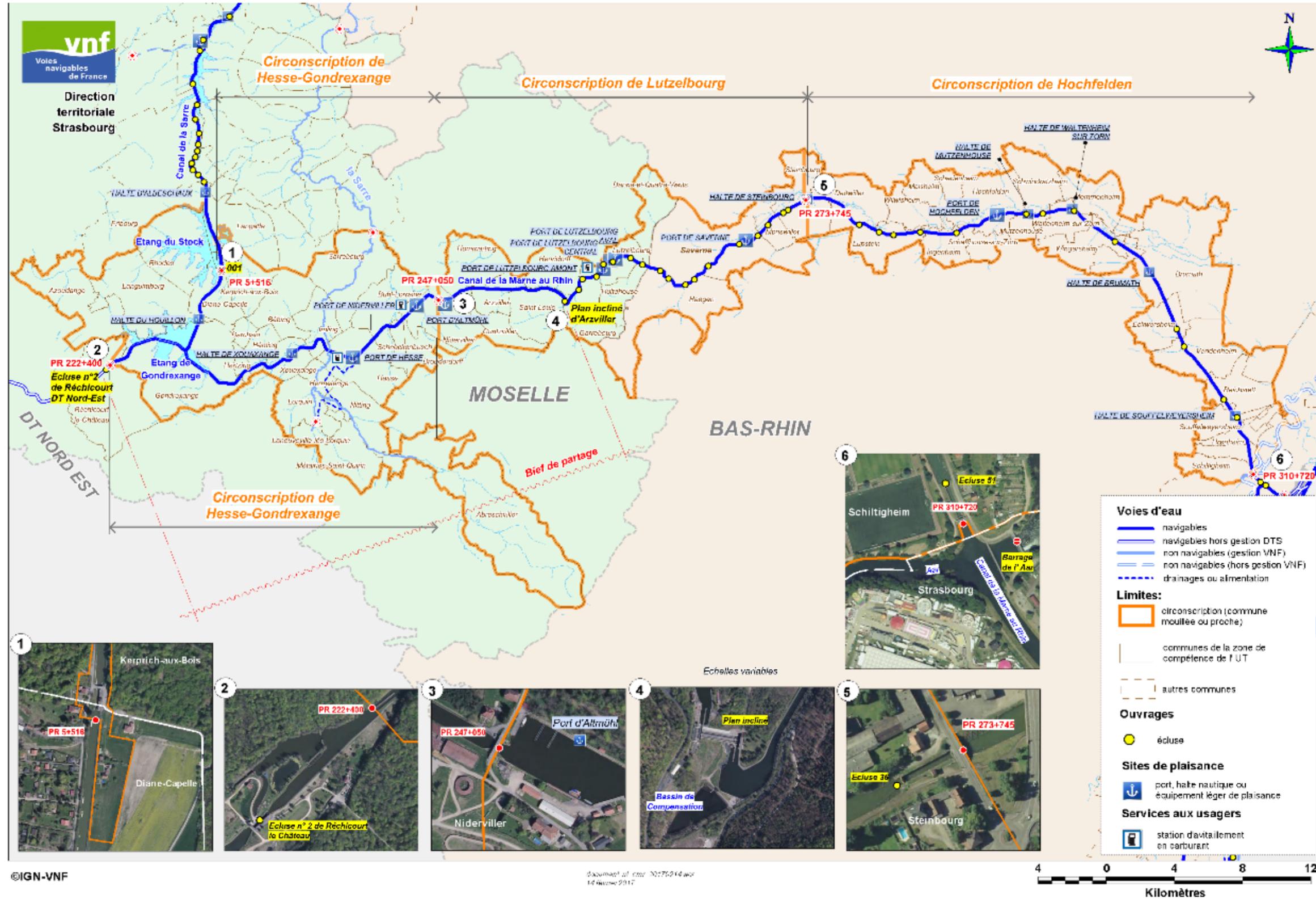








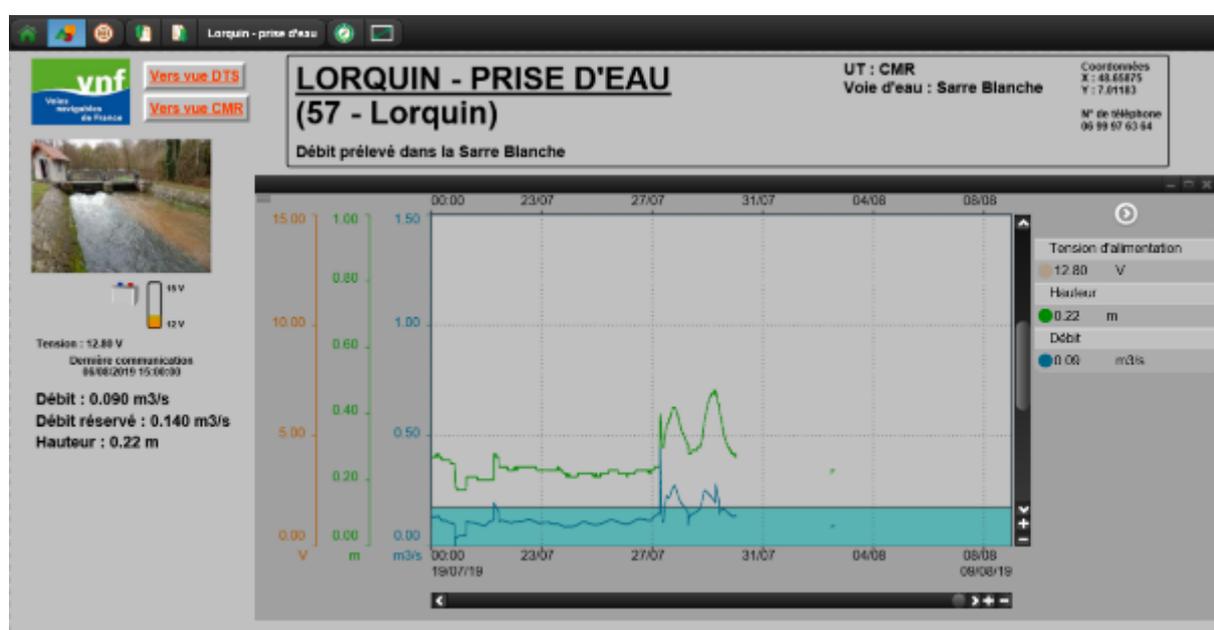
UT Canal de la Marne au Rhin



annexe 8 Carte du canal de la Marne au Rhin-branche EST (document interne à VNF, février 2017)

annexe 9 La supervision des ouvrages et l'outil TOPKAPI

Actuellement la direction territoriale de Strasbourg est en contrat avec la société ARÉAL dans le cadre de la supervision des ouvrages du canal de la Marne au Rhin-branche EST. Le contrat assure à VNF que la société ARÉAL mette à disposition son outil TOPKAPI, un logiciel de type SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) qui permet de contrôler et de demander des données à des serveurs distants ou des automates. C'est un outil adapté à l'informatique industrielle et la télégestion d'ouvrages comme dans le cas du CMR où les agents peuvent manipuler le barrage de Nitting par exemple tout étant assis à plusieurs kilomètres de l'ouvrage. L'application peut être considérée comme un outil « à tiroirs » avec plusieurs offres de services. L'établissement VNF a choisi d'optimiser l'outil vers la communication à distance et l'élaboration d'une base de données. Cette base sous langage SQL, permet principalement à l'application AgHyre d'accéder aux données pour les bancariser à son tour et les mettre à disposition du grand public.



Exemple d'une "vue" sur Topkapi (extrait d'un compte invité sur l'interface de TOPKAPI)

La communication à distance se fait soit de l'instrumentation au serveur via une connexion GSM (liaison téléphonique sans fil) ou par le réseau internet. Elle peut également avoir lieu via un réseau RTC (réseau téléphonique commuté) comme c'est le cas par exemple pour les prises d'eau de Nitting et Lorquin qui peuvent être pilotables à distance via un appareil de type Minitel.

AgHyre

AgHyre est un outil qui est développé au sein de VNF et permet le stockage à long terme et ceci de manière uniformisée des données de gestion hydraulique pour l'ensemble du territoire national. L'intérêt est d'élaborer une véritable aide à la décision en partageant les données avec les instances publiques compétentes (EDF, Météo France, Vigicrues, ...). L'application AgHyre permet également d'échanger à travers les différentes directions territoriales, ce qui n'était pas possible avec les différents SCADA présents pour chaque itinéraire en France.

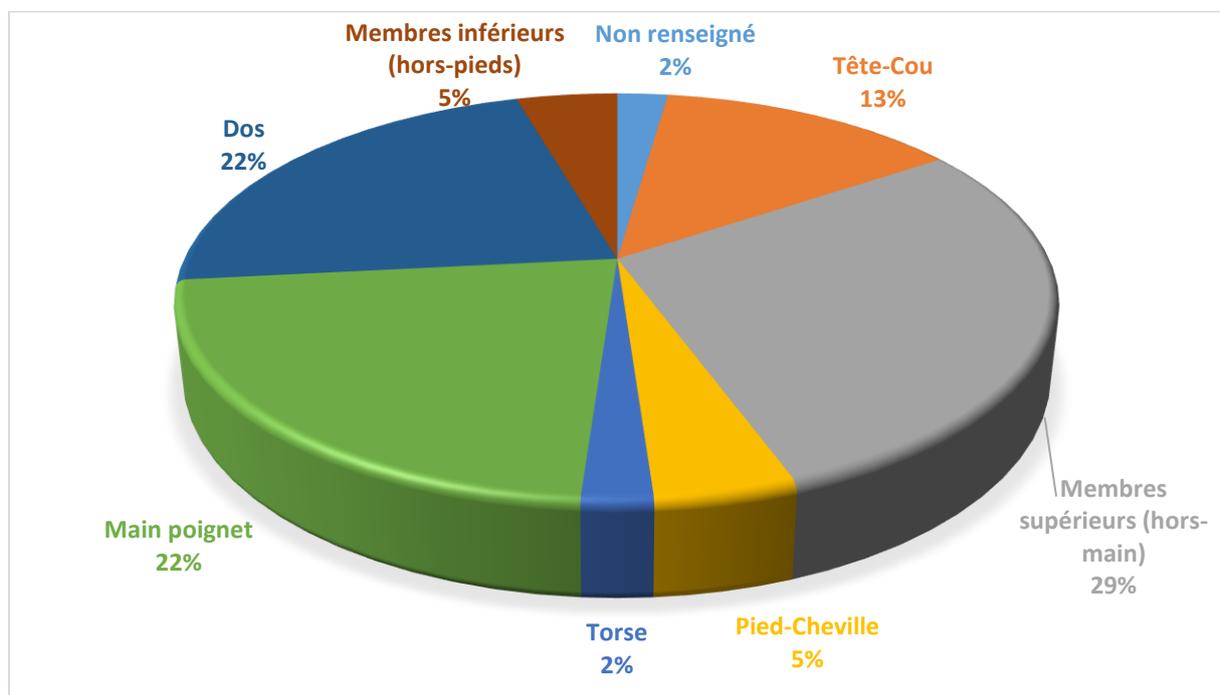


annexe 10 Le cas particulier de l'utilisations de manivelles

Une grande partie des ouvrages comportant une vanne nécessite la manœuvre d'une vanne et elles sont pour l'essentielles manuelles. Ces dispositifs consistent en la manœuvre d'une manivelle qui s'insère dans un dispositif à cric. Les manivelles sont souvent employées dans la gestion hydraulique des voies d'eau et les agents travaillent souvent avec. Elles sont pour la grande majorité des ouvrages amovibles pour éviter le risque de vol.

De 2013 à 2017, VNF a compté 45 accidents lors de l'exploitation des manivelles sur l'ensemble des DT en France dont la moitié (22) ont provoqué plus de 8 jours d'interruption temporaire de travail (ITT).

Le problème est également lié aux dispositifs à cric qui les accompagne. Souvent trop basses, trop vétustes, pas pratiques pour les agents, les opérations d'ouverture de vanne ou vantelle présente un risque sur le long terme pour le dos et les bras.



Répartition des pathologies liées aux incidents sur les interventions de manivelles

Plusieurs problèmes ont été avancés comme l'ergonomie qui force à se pencher et se positionner bas avec une forme de la manivelle peu pratique mais également les problèmes d'usure du trou de manivelle qui ne tient plus très bien l'objet.

La grande difficulté avec les dispositifs à cric et les manivelles c'est que l'on ne peut pas simplement les changer car des travaux de corrections nécessitent un savoir particulier qui s'est perdu (forgeron, chaudronnier, ...) et il faudrait remplacer tout un parc d'ouvrage ce qui n'est pas rendu possible par le manque de moyens et de temps dont dispose VNF.

	NFDT	conditions de travail	classement final	
nom de l'ouvrage	valeur (h)	valeur	note finale	rang
Ecluse 18	274	20	0.916	1
Prise d'eau de Lorquin	243	20	0.861	2
Prise d'eau de Nitting	243	20	0.861	2
Vanne de la prise d'eau 40	243	20	0.861	2
Usine élévatoire de Gondrexange	193	24	0.852	5
Vanne d'alimentation n°1 du bassin de compensation du Plan incliné	183	23	0.812	6
Vanne de la prise d'eau 26	183	21	0.771	7
Barrage à double clapet PE 18	183	20	0.750	8
Vanne de restitution du bassin de compensation du Plan incliné	183	20	0.750	8
Station de pompage de Diane-Capelle	180	20	0.745	10
Ecluse 47	183	13	0.604	11
Ecluse 48	183	13	0.604	11
Ecluse 49	183	13	0.604	11
Ecluse 50	183	13	0.604	11
Ecluse 51	183	13	0.604	11
Vanne Pourcent	56	21	0.540	16
Siphon de La Plage	19	22	0.493	17
Ecluse 32	122	13	0.493	17
Ecluse 33	122	13	0.493	17
Ecluse 34	122	13	0.493	17
Ecluse 35	122	13	0.493	17
Ecluse 36	122	13	0.493	17
Ecluse 37	122	13	0.493	17
Ecluse 38	122	13	0.493	17
Ecluse 39	122	13	0.493	17
Ecluse 41	122	13	0.493	17
Ecluse 42	122	13	0.493	17
Ecluse 43	122	13	0.493	17
Ecluse 44	122	13	0.493	17
Ecluse 45	122	13	0.493	17
Ecluse 46	122	13	0.493	17
Barrage à vannes de l'Aar	27	20	0.465	32

Siphon du Gros étang	2	22	0.461	33
Bassin de compensation du Plan incliné	67	16	0.455	34
Siphon de Réchicourt	30	19	0.451	35
Barrage à clapet PE 26	13	20	0.440	36
Ecluse 19	91	13	0.437	37
Ecluse 20	91	13	0.437	37
Ecluse 21	91	13	0.437	37
Ecluse 22	91	13	0.437	37
Ecluse 23	91	13	0.437	37
Ecluse 24	91	13	0.437	37
Vanne segment	52	16	0.428	43
Vanne de fond n°2 de Gondrexange	0	19	0.396	44
Ecluse 25	61	13	0.382	45
Ecluse 26	61	13	0.382	45
Ecluse 27	61	13	0.382	45
Ecluse 28	61	13	0.382	45
Ecluse 29	61	13	0.382	45
Ecluse 30/31	61	13	0.382	45
Ecluse 40	61	13	0.382	45
Bassin de tranquillisation des siphons	32	14	0.349	52
Vanne de la Petite Creusière	1	14	0.293	53
Barrage de décantation (PE 25)	31	10	0.265	54
Vanne d'Albeschau	0	11	0.229	55
Vanne de vidange du canal amont du plan incliné	0	11	0.229	55
Porte de garde de Gondrexange	2	10	0.211	57
Porte de garde du col des Français	1	10	0.210	58
Porte de garde du Houillon	1	10	0.210	58
Barrage du Brunnenthal	0	8	0.167	60
Barrage PE 24	0	8	0.167	60
Ecluse de garde 52	0	8	0.167	60
Déversoir de superficie de La Plage	0	7	0.146	63
Conduites forcées du Plan Incliné	0	6	0.125	64
Siphons de l'étang du stock	30	1	0.076	65
Barrage du moulin PE 40	0	1	0.021	66
Déversoir de trop-plein du bassin de compensation du Plan incliné	0	1	0.021	66
Vanne d'alimentation n°2 du bassin de compensation du Plan incliné	0	1	0.021	66
Vanne de fond de Breakmatt	0	1	0.021	66

Vanne de fond de l'écluse de Réchicourt	0	1	0.021	66
Vanne de fond de Niderviller avant Kuhne Tour	0	1	0.021	66
Vanne de fond de Niderviller avant le port de Niderviller	0	1	0.021	66
Vanne de fond de Xouaxange	0	1	0.021	66
Vanne de fond n°1 de Gondrexange	0	1	0.021	66
Vanne de la prise d'eau 24	0	1	0.021	66
Vanne de Schneckenbush	0	1	0.021	66
Vanne SOPRODI	0	1	0.021	66



annexe 12 Étang de Gondrexange avec la cornée de La Plage au premier plan, la cornée du Neuf Étang est en arrière-plan



annexe 13 refoulement de l'usine élévatrice de Gondrexange et en arrière-plan la cornée du Gros Étang



annexe 14 Vanne "pourcent" au premier plan et station de pompage à gauche



annexe 15 Digue de l'étang du Stock et siphons au premier plan



annexe 16 Port de plaisance à Saverne



annexe 17 PC de Gondrexange et Minitel qui permet de manipuler les barrages de Nitting et Lorquin



annexe 18 PC de Vendenheim et poste spécifique au pont tournant



annexe 19 Exemple de maintenance spécialisée : un chaudronnier travaille sur une vantelle



Mémoire de Fin d'études

Diplôme(s) Ingénieur de l'ENGEES
Spécialité Traitement

Auteur
M. JULIEN AUGELMANN

Année
2019

Titre

Priorisation des opérations de modernisation des ouvrages de gestion hydraulique du canal de la Marne au Rhin – branche Est par l'analyse des besoins d'exploitation

Nombre de pages texte 48 annexes 17
Nombre de références bibliographiques 15

Structure d'accueil Voies Navigables de France - Direction territoriale de Strasbourg/
Strasbourg/ Bas-Rhin
Maître de stage M. MARTIN SALESSES

Résumé

A partir d'une analyse à réaliser, décrire les besoins d'exploitation des ouvrages de gestion hydraulique de la DT Strasbourg pour le canal de la Marne au Rhin-branche EST. Le stagiaire proposera une priorisation des ouvrages, puis des pistes de modernisations à apporter aux ouvrages prioritaires afin d'optimiser leur fonctionnement et limiter leurs besoins d'exploitation.

Mots-clés

Voies navigables ; exploitation ; gestion hydraulique ; priorisation ; modernisation ;