Ecole Polytechnique Federale de Lausanne EPFL
(Travail de Master 2012)

Etude de faisabilité d'un canal navigable entre le Lac de Neuchâtel et le Léman.

Projet master
Eté 2012

Candidat : Fränz Zeimetz
Professeur : Anton Schleiss
Responsable de suivi : Giovanni De Cesare
Assistant : Raphaël Sprenger

19 juin 2012

Abstract This work will analyze a barge canal, connecting Lake Neuchâtel with Lake Geneva, in an economical, social, environmental and technical context. The goal is to determine if the end justifies the means. Three possible canal layouts will be rated in a multiple-criteria analysis. The best layout will be further developed. This allows the calculation of the costs of the project, that will be submitted to a sensitivity analysis pointing on the interest rate.

The results show that the project has a high ecological, economical and touristic value. Furthermore the means are absolutely reasonable considering the result.

Résumé Le but de ce travail est de placer un canal navigable reliant le Lac de Neuchâtel et le Léman dans un contexte économique, sociétal, environnemental et technique et de voir si les considérations à prendre, les moyens à mettre en oeuvre et les coûts restent dans la mesure de l'acceptable et du réalisable. Les différents domaines mentionnés ci-dessus ont été analysés afin d'ouvrir le plus possible le spectre du sujet dans le but d'une bonne intégration dans l'ensemble. L'élément qui touche à tous ces domaines est le tracé du canal. Trois variantes de tracé ont été élaborées, qui seront évaluées dans une analyse multicritère afin de choisir celle qui s'intègre le mieux. Une fois le choix d'une variante faite, un avant projet est élaboré. Enfin, les coûts de construction et les annuités ont été calculés et seront soumis après à une analyse de sensibilité au changement du taux d'intérêt et de la durée d'amortissement.

Les résultats ont permis de conclure que le projet a une haute valeur écologique, économique ainsi que touristique et que les moyens à mettre en œuvre sont tout à fait raisonnables.

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL
Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit
Laboratoire des constructions hydrauliques LCH
GC A2 392 (Bâtiment GC)
Station 18
CH-1015 Lausanne
E-mail: secretariat.enac@epfl.ch

1 Introduction

La première fois que la Suisse fit l'objet d'un aménagement de voies navigables date de 1609, quand une société de commerçants des Pays-Bas s'était fondée pour rendre navigable le Rhin par un canal s'étendant jusqu'au lac de Constance. L'idée de la navigation en Suisse fut née.

Les Hollandais ont suggéré de construire un canal qui leur permet de passer de Rotterdam jusqu'à Marseille, ce qui leur permet d'éviter de passer près de leurs ennemis, L'Espagne (cf figure 1).. Ils doivent donc passer de Rotterdam à Bâle puis Lenzburg, Brugg, Aarberg, Neuchâtel, Yverdon, **Entreroches**, Cossonay, Morges, Lac Léman, Lyon et finalement Marseille (Schleiss [5]).

En 1640, durant l'été, les ouvriers commencèrent à déblayer la gorge d'Entreroches. Ce ne fut qu'en 1648 qu'ils atteignirent Cossonay. Les travaux furent stoppés, car les investissements furent jugés sans relation avec l'avancement des travaux. Le passage entre Cossonay et Morges ne fut jamais construit.

En fait, le développement des transports terrestres au XVIIIe siècle a rendu moins attractif le transport par l'eau. Le canal était de moins en moins utilisé, ce qui a diminué les recettes, par conséquent l'entretien du canal était négligé. En 1829, le pont du Talent s'effondra et rendit impossible le passage des bateaux. Le pont ne fut jamais reconstruit. Ceci signifia la fin du canal.

De nos jours le projet regagne en attractivité. En effet la fin du canal était due à l'essort des routes qui rendaient le transport plus aisé. Cependant, les routes commencent à être saturées et il faut trouver une autre possibilité de transport.

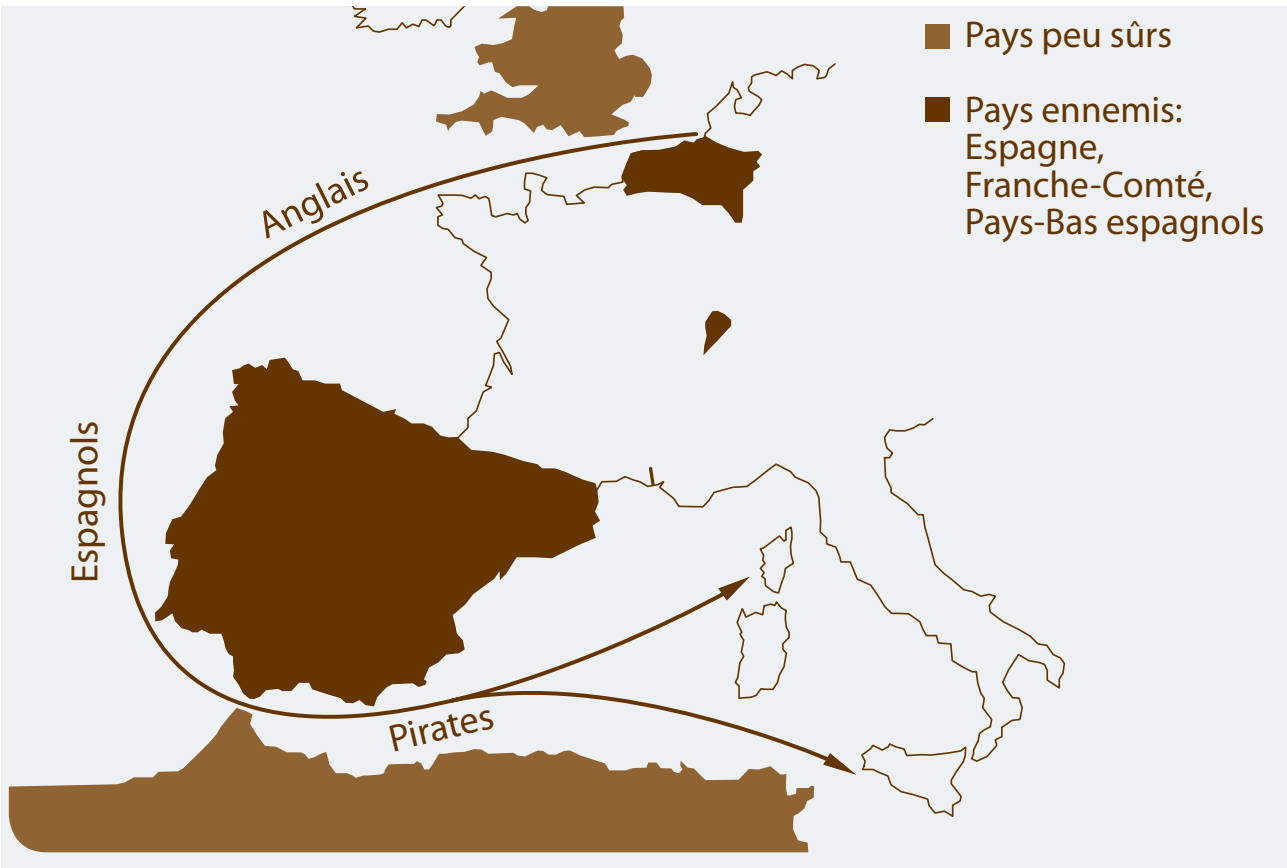


FIGURE 1: Voie maritime à prendre sans canal, (Canton de Vaud [4]).

2 Informations de base

2.1 Les données techniques

2.1.1 Le matériel navigant

Le tableau 1, non exhaustif, indique les caractéristiques du matériel navigant ainsi que les dimensions minimales des ouvrages.

No de classe	appellations courantes	matériel navigant			
		long. [m]	larg. [m]	enfonc. [m]	tonn. [t]
0	petites barges	variables			< 300
I	Freycinet	39.0	5.1	2.2	350
IV	Rheinschiff	80	9.7	2.5	1250
IV A	Europaschiff	85.0 -105.0	9.5	2.7 -3.0	1500 -1800

Tableau 1: Classification des voies navigables (ASNAV [1]).

2.1.2 Niveau d'eau

Les niveaux d'eau dans les lacs varient au cours du temps, les deux extrema,à savoir les hautes eaux navigables (HEN) et les basses eaux navigables (BEN) seront donc utilisés (cf table 2). Les données sur les niveaux HEN et BEN du lac de Neuchâtel ont été calculées par la méthode de Gumbel.

	HEN	BEN
Lac Léman	372.3	371.7 / 371.5
Lac de Neuchâtel	430.3	428.5

Tableau 2: Les niveaux d'eau (Blattner [2]).

2.1.3 Vitesse du courant de retour

Les recommandations suivantes (Pirotton [3]) doivent être respectées afin d'éviter des érosions dues au courant de retour qui doit satisfaire aux limitations de vitesses suivantes :

- v'=0.2 - 0.4 m/s si la section est constituée de sable
- v'<1.0 m/s s'il s'agit de gravier
- v'<0.6 - 0.7 m/s s'il s'agit de limon

2.1.4 La section

Afin d'assurer le croisement de bateaux il faut garantir un certain espace entre les deux bateaux ainsi qu' une distance de sécurité à la berge. Il est recommandé de prendre une largeur de bateau entre deux bateaux qui se croisent et la moitié d'une largeur de bateau de part et d'autre des bateaux (cf figure 2).

L'inclinaison (par rapport à l'horizontale) typique des talus est selon Pirotton ([3]) d'un angle α tel que $tan(\alpha) = 1/2$. Il est recommandé de ne pas dépasser $tan(\alpha) = 2/3$. La revanche du chemin de halage par rapport au niveau d'eau est de 0.7 m à 1 m (de préférence). La distance entre le bas de la coque du bateau et le fond est de préférence au minimum de 1 m.

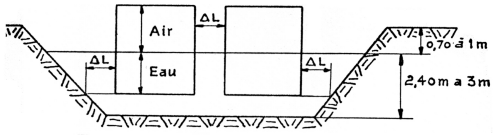


FIGURE 2: Gabarit de croisement en alignement droit (Pirotton[3]).

2.1.5 Courbe

Les rayons des courbes doivent être les plus grands possibles, les rayons faibles gênant la navigation. Si des rayons importants ne sont pas réalisables à cause de la topographie ou pour d'autres raisons, des rayons faibles peuvent être réalisés sous condition de garantir une certaine surlargeur dans les courbes afin de permettre le croisement des bateaux.

D'après Pirotton ([3]), le rayon minimal acceptable en France est de 300 m pour les bateaux de 300t.

2.2 Géologie

Ce projet demande la construction de tunnels, est contraint à des tassements, nécessite des excavations et influe sur la nappe phréatique. Il est donc important de porter l'attention sur la géologie du site concerné. Les informations géologiques proviennent de logs de forage du site www.geoplanet.vd.

Le sol dans la Plaine de l'Orbe est constitué de dépôts palustres, de dépôts lacustres ou encore d'alluvions de plaines. La composition du sol sous la couche tourbeuse de surface varie entre limons sableux et sables graveleux.

Le haut de Mormont est constitué de calcaire, la cimenterie Holcim l'extrayant à Eclépens.

En profondeur le sol est constitué de la molasse pratiquement dans toute la zone considérée. Plus proche du Lac Léman, le sol devient de plus en plus limoneux.

2.3 L'environnement

L'Etat de Vaud a mis au point un règlement concernant la protection de la Venoge qui a été approuvé en 1997. Ce règlement vise non seulement la protection de la Venoge, mais également de ces abords.

Dans ce contexte, quatre périmètres ont été définis afin de nuancer la protection en fonction du lieu. Le périmètre 1 comprend "les cours d'eau formés par la Venoge, les affluents et leurs dérivations." Dans le périmètre 2 se trouve les couloirs de la Venoge et du Veyron. Le périmètre 3 est défini pour protéger les vallées de la Venoge et du Veyron. Enfin le périmètre 4 comprend tout le bassin versant de la Venoge défini par la topographie local.

3 Les variantes

3.1 Présentation des variantes

Les trois variantes présentées dans ce chapitre se distinguent principalement par leur longueur de tracé, la longueur de passage en tunnel et leur profil en long. Par conséquent le nombre d'écluses nécessaires est différent d'une variante à l'autre. Les variantes 1 et 2 sont munies d'un ascenseur à bateau pour franchir des dénivelés élevés. L'embouchure dans le Lac de Neuchâtel est la même pour les trois variantes. En ce qui concerne l'embouchure dans le Lac Léman, deux variantes (1 et 2) se jettent au même endroit dans le lac, au lieu dit *Les Tuilières*, l'autre se jette quelques kilomètres plus loin dans le Léman, au lieu dit *Le Prés au Moine*, près de Tolochenaz.

Au niveau du matériel navigant, les variantes 1 et 2 sont conçues pour le gabarit "Freycinet" et la variante 3 prévoit l'utilisation de bateaux du type "Rheinschiff", comme proposé par l'ingénieur Pierre Roelli. Cette dernière dispose de deux voies sur toute la longueur. Initialement les variantes 1 et 2 ont été munies de deux voies à l'air libre et étaient à voie simple en tunnel. Les considérations de la capacité de transport par l'intermédiaire d'un cadencement a permis de conclure sur le nombre de voies en tunnel. La capacité de transport n'étant pas suffisante pour les bateaux du type "Freycinet" naviguant partiellement sur un tracé à voie simple, cela a conduit à des voies doubles sur toute la longueur du tracé pour chaque variante.

Les variantes se distinguent également par leur fonction dans l'environnement et leur système d'approvisionnement en eau.

Une représentation de la situation des trois variantes se trouve à la figure 3.

	var 1	var 2	var 3
longueur du tracé [km]	41.76	38.83	38.97
nombre d'écluses	2	3	4
dénivelé totale parcourue en écluse [m]	13.80	21.34	59.80
ascenseur à bateau	oui	oui	non
dénivelé parcourue en ascenseur [m]	69.09	78.34	-
nombre de tunnels	2	3	4
parcours en tunnel [km]	27.9	20.98	25.49

Tableau 3: Tableau récapitulatif des variantes

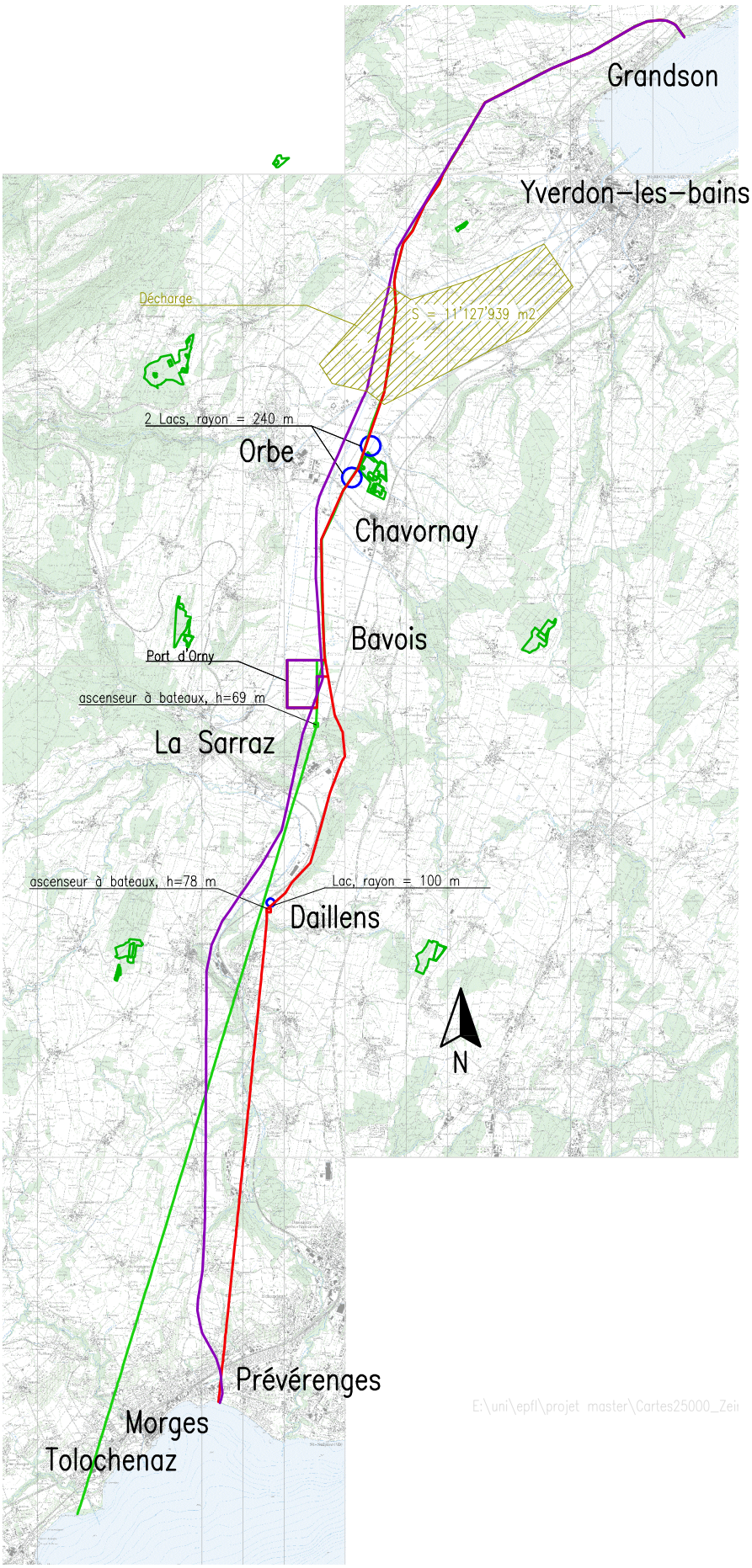


FIGURE 3: Représentation des variantes. Variante 1 en vert, variante 2 en rouge, variante 3 en mauve.

3.2 Evaluation des variantes

L'évaluation es variantes est basée sur les critères pondérés du tableau 4.

Critères	poids	Notes var 1	var 2	vari 3
Coûts de construction	2	2	3	1
Impact sur l'environnement	3	2	3	1
Attraction touristique	1	2	3	1
Capacité de transport	2	1	1	2
Sécurité	3	1	3	2
Economies	2	1	1	2
Score final		19	31	20

Tableau 4: Tableau récapitulatif des notes et des poids ainsi que le score finale.

L'évaluation multircritère des variantes proposées a montré que la variante 2 est la variante ayant le meilleur score. Elle constitue donc la variante ayant la meilleure intégration dans les différents contextes analysés lors de l'étude multicritère.

La variante 2 sera retenue afin d'élaborer l'avant-projet.

4 Avant-projet

4.1 Optimisation des paramètres

La forme de la cuvette, initialement trapézoïdale, est transformée en une cuvette plus proche de la section circulaire, comme le montre la figure 4.

Des vérifications sur la section optimisée doivent être entreprises afin de garantir que la section optimisée satisfait à tous les critères (résistance à l'avancement, vitesse limite, courant de retour, etc.) et non seulement à une réduction des contraintes de traction due à une section plus circulaire. Le tableau 6 montre les résultats du contrôle. Les valeurs des paramètres utilisés lors du contrôle figurent dans le tableau 5.

Les calculs des vitesses du courant de retour selon Pirotton ([3]) donnent les résultats qui se trouvent

FIGURE 4: Schéma de la section adaptée en superposition avec la section transversale.

		hors tunnel	en tunnel
section mouillée	Ω $[m^2]$	90	47.5
maître couple	s $[m^2]$	6.5	6.5
enfoncement	t $[m]$	2.2	2.2
vitesse du bateau	v $[m/s]$	2.8	2.8

Tableau 5: Dimensions des sections en tunnel et à l'air libre.

valeur	contrainte	hors tunnel	en tunnel	
$n = \frac{\Omega}{s}$	$7 < n < 14$	13.8	7.3	ok
$p = \frac{h}{t}$	$p > 1.5$	1.8	2.5	ok
incl. des berges	$tan(\alpha) < 4/6$	ok	ok	-

Tableau 6: Contrôle des dimensions selon Pirotton, source des restrictions : Pirotton [3].

	hors tunnel	en tunnel
vitesse du courant de retour $\mathbf{v'}$ $[\mathbf{m/s}]$	**0.29**	**0.57**
vitesse limite $\mathbf{v_L}$ $[\mathbf{m/s}]$	**3.56**	**3.11**

Tableau 7: Résultats du calcul des vitesses du courant de retour et des vitesse limites.

dans le tableau 7. Ces résultats restent dans les limites acceptables données dans la partie 2.1.3

Il reste à vérifier si la vitesse limite du bateau, due à la résistance à l'avancement qui vient de l'interaction entre la section du canal et la section mouillée du bateau, est supérieure à la vitesse de 2.8 m/s (hypothèse de début). Le calcul des vitesses limites d'après Pirotton ([3]), dont les résultats se trouvent dans le tableau 7, a montré que tel est le cas.

Un aménagement pompage-trubinage garantit l'approvisionnement en eau du canal. L'idée est de pomper l'eau nécessaire pour les éclusées pendant la nuit quand l'électricité est bon marché et pendant les heures de pointe, quand l'électricité est chère, elle est turbinée pour compenser les coûts de pompage.

L'optimisation est de nature économique. Il s'agit de minimiser les coûts totaux, en tenant compte des coûts du blindage, de l'énergie supplémentaire à fournir lors du turbinage à cause des pertes de charge, de l'énergie perdue lors du pompage à cause des pertes de charge, de la pompe turbine et de la station de couplage.

Il s'agit de résoudre l'équation suivante pour déterminer le diamètre optimal D_{opt} :

$$Couts_{tot,min} = f(D) \tag{1}$$

La conduite forcée est placée dans le puits de l'ascenseur à bateau et aura un diamètre optimal de $1.2m$ avec une épaisseur des parois de 9 mm. La vitesse qui est dans la conduite lors du pompage est de $v_{pomp} =$ 4.5 m/s, lors du turbinage elle est de $v_{turb} =$ 3.0 m/s.

4.2 Dimensionnement détaillé des ouvrages

Canal ouvert. La longueur du tracé vaut $38'830$ m, la section optimisée est de 90 m^2. La couche d'étanchéité a une épaisseur approximative de 14 cm alors que la réserve de chaque côté est de 1 m.

Afin de connaître la longueur sur laquelle cette section sera réalisée, il faut soustraire de la longueur totale du canal la longueur des lacs, des tunnels et des écluses. Il reste une longueur de 17 km.

Le volume à excaver vaut $1'536'000\ m^3$.

Terrain. Le terrain à acheter a la longueur du canal ouvert (la partie en tunnel ne nécessite pas d'achat de terrain). La largeur de la bande de terrain à acheter correspond à la largeur du canal, plus une zone de rive dont la largeur est estimée à 15 m de part et d'autre du canal. L'hypothèse est faite que des zones de rive ne peuvent être réalisées que dans le cas où la surface de l'eau est à la même hauteur que le terrain ou plus basse, ce qui donne une longueur de $13'500\ m$ pour ces.

La surface des lacs est estimée à 38 ha.

Il faut encore rajouter la surface nécessaire pour construire les trois ports, qui est de 22 ha.

Finalement la surface de terrain à acquérir est de 162 ha.

Tunnels. Les tunnels doivent avoir un diamètre de 11.4 m. Un revêtement de béton de 20 cm est mis sur les parois de l'excavation, ceci peut être des éléments préfabriqués, installés automatiquement par le tunnelier.

La longueur totale des tunnels est de $21'160\ m$. La quantité à excaver est de $4'319'600\ m^3$. La quantité de béton de recouvrement est de $297'813\ m^3$.

Lacs. Le projet vise à la réalisation de trois lacs, comme le montre la vue en plan du tracé de la figure 3, dont deux lacs ont un rayon équivalent de 240 m et le troisième a un rayon équivalent de 100 m.

Zones de rives. Les zones de rives doivent avoir un aspect très naturel, leur profondeur sera variable ne dépassant pas 2 m. Une excavation d'une section de 10 m^2 sera nécessaire de chaque côté du canal sur une longueur de $13'500\ m$.

Les écluses. Il y aura trois écluses à construire, comme le montre le profil en long du canal. Ces écluses permettent respectivement des dénivelées de 1.80 m, 8.50 m et 12.0 m. Un dimensionnement précis de la section en béton n'est pas faite dans le cadre de ce projet. Les dimensions de la structure en béton reposent sur des estimations raisonnables telles qu'elles ont été faites lors du prédimensionnement.

Les ponts. Il y aura dix ponts à construire pour le franchissement du canal. Il s'agit de ponts de petite taille. La largeur est estimée en considérant deux bandes de roulement de 3 m chacune et deux bandes de bord d'une largeur de 1 m chacune. La largeur peut donc êtres estimée à 8 m. La longueur des ponts est estimée en prenant 3.5 fois la largeur du canal ($= \pm 32\ m$).

L'ascenseur à bateau. Le diamètre de l'excavation de l'ascenseur est de 47.8 m et la profondeur est de 78.3 m. Un revêtement en béton de l'excavation de 2 m d'épaisseur est jugé nécessaire pour reprendre les pressions. En tout la section de béton dans la section excavée vaut 444.5 m^2. La section de l'ascenseur est représentée à la figure 5.

Le calcul des dimensions des contre-poids a permis de calculer la quantité d'acier nécessaire pour les bacs, soit 51 m^3 d'acier.

Une excavation de classe II est choisie pour estimer les coûts de l'excavation de $140'510\ m^3$. Le volume de béton nécessaire est estimé à $340'804\ m^3$.

L' aménagament pompage-turbinage Les coûts de cet aménagement sont de 1.86 mio CHF.

La décharge nécessite l'enlèvement de la terre végétale d'une épaisseur de 50 cm sur une surface de $1'100\ ha$. La terre doit être stockée et remise en place après avoir déposer les matériaux excavés.

Les ports La construction d'un port nécessite d'excaver 1 mio m^3 et il faut un volume de 0.5 mio m^3 de béton. Ce volume a été calculé en mesurant la surface de béton à l'aide d'AutoCad, $S_{béton} = 77'000\ m^2$, et en la multipliant par une profondeur de bétonnage de 6.5 m pour garantir la sécurité dans le cas où un bateau heurte la construction en béton, de façon qu'elle soit ancrée dans le terrain. Un dimensionnement détaillé du port permettrait de déterminer si la structure en béton peut être construite de façon creuse tout en garantissant le support des grues et les chocs des bateaux. Des économies sur la quantité de béton sont très probablement possibles.

4.3 Modes d'exécution et planification des travaux

Le diagramme de Gant (cf table 8) sert à planifier les différentes phases de chantier. La visualisation sur un même graphique les durées des chantiers donne une bonne impression de la succession des différents chantiers ce qui facilite la planification et minimise donc le danger de faire des erreurs dans cette dernière.

Sept chantiers ont été déterminés comme illustré à la figure 6 (le septième chantier est la décharge qui ne peut être représentée sur le schéma). Pour chaque type de chantier (tunnel, creusement du canal en plaine, etc) une vitesse d'avancement a été estimée ce qui nous permet de calculer le temps nécessaire à la réalisation.

On va s'organiser de façon que la somme à libérer par la Confédération pour financer les travaux ne va pas dépasser 400 mio. CHF par an. Ainsi la construction dans la zone concernée n'est pas trop gonflée. Il faut également veiller à ce que les travaux ne durent pas trop longtemps. Comme le coûts totaux s'élèvent à environ 2.4 mia. CHF, une durée totale de chantier de 6 ans permet à la Confédération de respecter

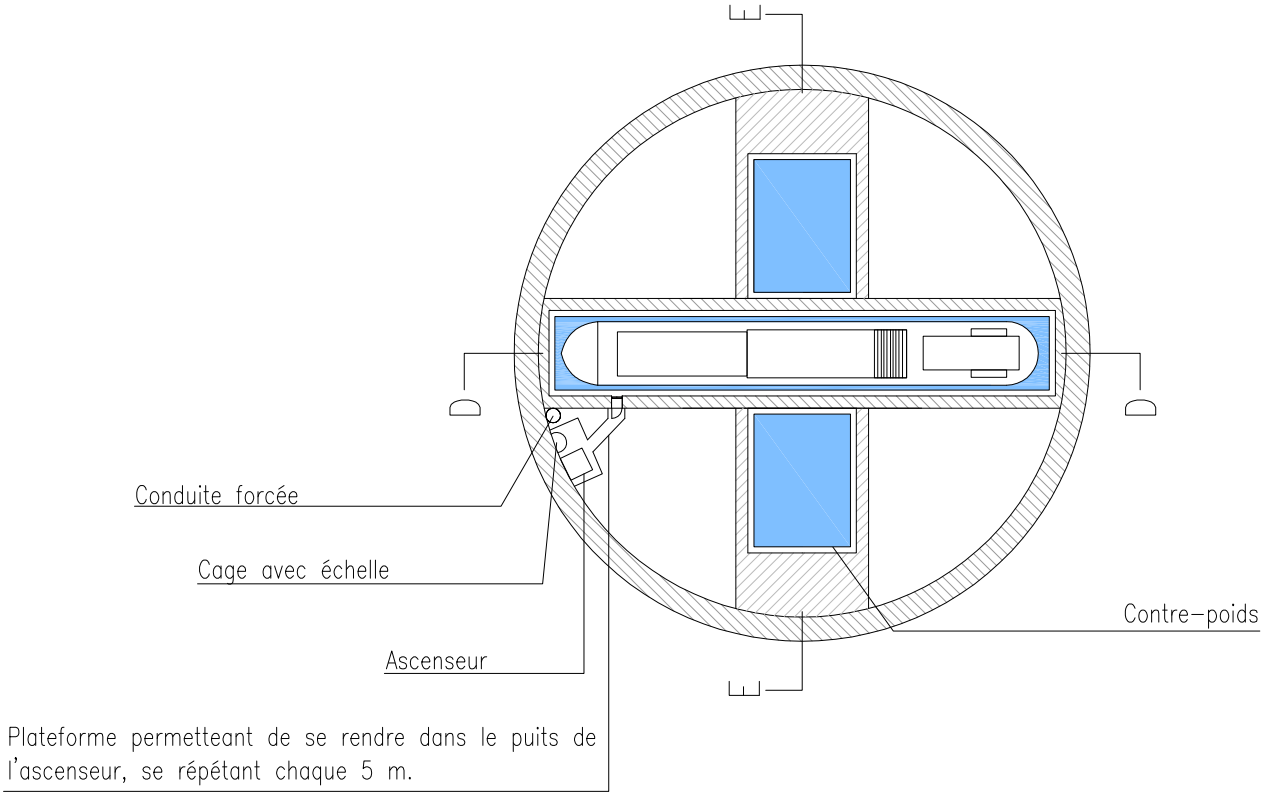


FIGURE 5: Coupe horizontale du puits de l'ascenseur à bateau.

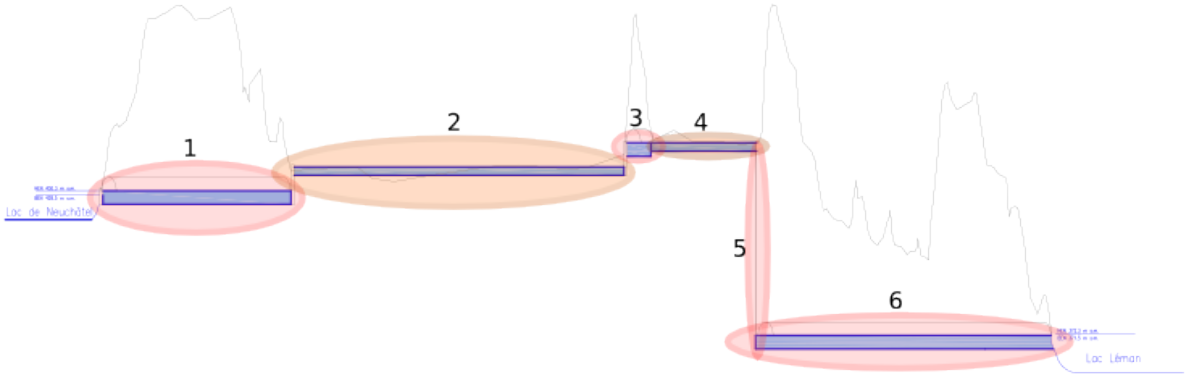


FIGURE 6: Subdivision en différents chantiers.

la somme maximale à libérer (400 mio. CHF) par an. Les chantiers vont donc être organisés de sorte que le canal peut être réalisé dans lesdites conditions.

4.4 Economies en relation avec le transport routier

Sur base des tonnages de marchandises transportés entre Lausanne et Bâle, des estimations sur les tonnages futurs ont été faites en appliquant un taux de croissance de 1% jusqu'en 2025 et de 0.5 % jusqu'en 2050.

Le calcul a montré que la capacité du canal est assez importante pour remplacer 40% des poids lourd par des bateaux (si la demande est tel). Le trafic routier serait donc soulagé énormément.

Actuellement, le transport des marchandises sur l'axe Lausanne-Bâle coûte environ 7'000'000 [CHF/jour]. En remplaçant le plus de poids lourds possibles par des bateaux (une fois le canal transhelvétique construit), ce coût peut être réduit à 4'300'000 [CHF/jour].

4.5 Estimation détaillée des coûts

Ces dimensions ont permis de calculer les coûts totaux ainsi que les annuités sur une durée d'amortissement de 50 ans, selon un taux d'intérêt de 5.6%.

Les résultats de ce calcul ont donné un coût de construction de 2.43 mia CHF, ce qui donne des annuités de 145.6 mio CHF/an. Après 50 ans,

	années											
Chantier	1		2		3		4		5		6	
Tunnel Lac de Neuchâtel - Plaine de l'Orbe												
Canal dans la Plaine de l'Orbe												
Puits d'ascenseur												
Tunnel du Mormont												
Canal après le Mormont												
Tunnel Léman - Plaine de l'Orbe												
Décharge												

Tableau 8: Diagramme de Gant montrant les phases de chantier.

Coûts de construction [mia. CHF]	2.43
Période d'amortissement [ans]	50
Taux d'intérêt [%]	5.6
Annuités [mio. CHF]	145.6
Investissement final après 50 ans [mia. CHF]	7.3

Tableau 9: Tableau récapitulatif.

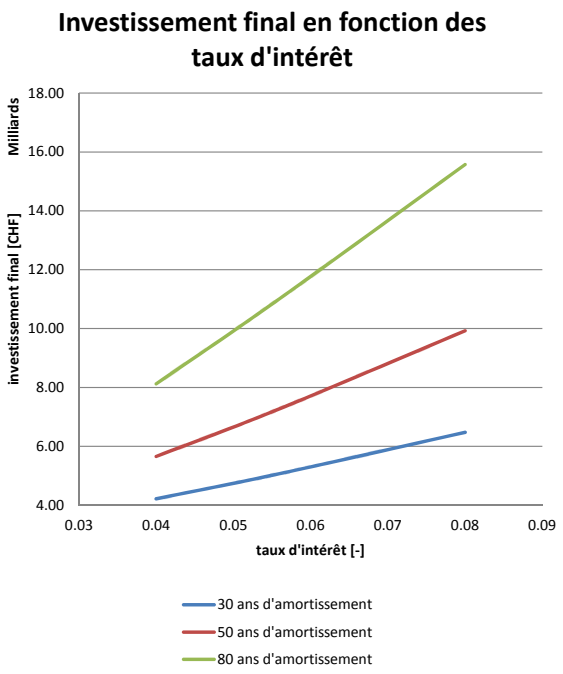
l'investissement total serait de 7.3 mia. CHF, à cause des intérêts. L'investissement vaut ainsi quasiment le triple des coûts de construction initiaux.

5 Analyse de sensibilité

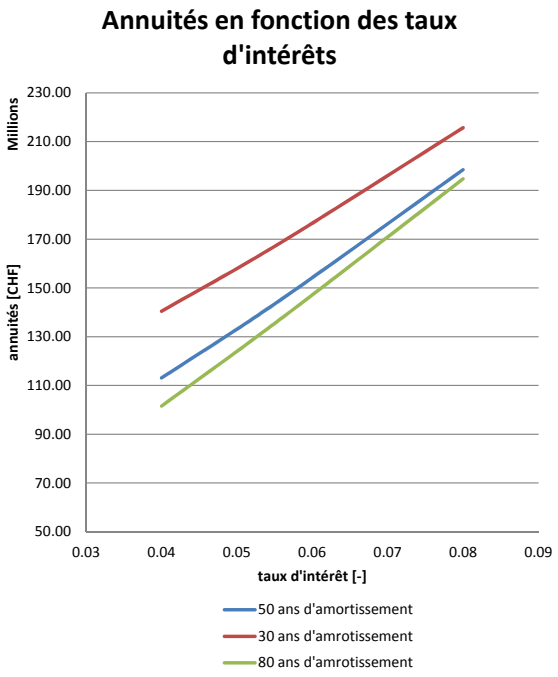
Une analyse de sensibilité permet de voir si une période d'amortissement plus courte est plus favorable ou non. Elle vise à analyser les changements des coûts de constructions à long terme dus à des changements du taux d'intérêt. Dans la situation économique incertaine actuelle, une analyse de sensibilité est très importante.

Les taux d'intérêts de 5.6%, 4% et de 8% seront analysés afin de voir comment la valeur finalement investie varie. Ces taux seront également analysés sur des durées d'amortissement différentes, à savoir 30, 50 et 80 ans.

Si les annuités d'une période d'amortissement de 30 ans sont trop importantes pour l'investisseur, une période d'amortissement de 50 ans est un bon compromis, car les annuités sont proches des annuités les plus petites de cette analyse en ne divergeant pas trop en cas de changement du taux d'intérêt, l'investissement final augmente dans une mesure acceptable, comparé à une durée d'amortissement importante.



(a) Investissement total.



(b) Annuités.

FIGURE 7: Evaluation de l'investissement total et des annuités en fonction du taux d'intérêts pour trois périodes d'amortissement.

6 Conlcusion

A travers ce travail a pu être montré que la construction du canal reliant le lac de Neuchâtel et le Léman est réalisable tout en respectant l'environnement et la société sans faire augmenter considérablement les coûts de construction. Pour l'avenir de la Suisse des canaux navigables peuvent apporter une plus-value à ne pas négliger ! Les réflexions sur la navigation en Suisse ne doivent pas s'arrêter au canal traité dans ce rapport, beaucoup d'autres possibilités existent en Suisse, comme par exemple des connections de navigation avec Olten, "hotspot" du transport ferroviaire et traversée par l'Aare.

La diversification du transport grâce à la navigation peut agir comme moteur de l'économie, car le secteur de la construction en Suisse sera fortement sollicité, ce qui signifierait la diminution du taux de chômage, et cela non seulement pendant la période de construction, mais à long terme, vu les entretiens nécessaires, les postes de travail créés aux ports et au administrations supplémentaires à mettre en place.

En plus du caractère commerciale de la navigation, le secteur du tourisme de navigation peut se mettre en place, créant ainsi un nouveau marché d'hôtellerie le long des canaux et au bord des lacs.

En outre, le canal apporte une valeur écologique importante à la région, vue la réduction du marnage et le contrôle aisé des crues dans la plaine de l'Orbe à cause de la déviation des cours d'eau dans le canal. Les travaux d'aménagement visent également la naturalisation des zones de rives du canal ou encore la renaturalisation des cours d'eau proches du canal, qui sont en état artificiel. De cette façon, un projet non-écologique à première vue, peut être rendu très écologique en faisant les bonnes considérations et en ayant une vue d'ensemble des différents domaines touchés par le canal.

Une intégration environnementale et donc sociétale (ces deux éléments sont liés à cause du caractère agricole de la Plaine de l'Orbe) et économique est donc tout à fait réalisable et raisonnable.

Références

1. ASNAV, A.S.p.l.N.I. : Navigation 01. `www.asnav.ch` (2005)
2. Blattner, H. : Rapport technique générale. Tech. rep., Association suisse pour la navigation du Rhône au Rhin (1953)
3. Pirotton, P.M., Archambeau, P., Mouzelard, T., Erpicum, S. : Cours de voies navigables. Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées (2001-2003)
4. Randonature, S. : Le canal d'Entreroches, Histoire d'un rêve européen, randonature edn. Patrimoine Suisse, Canton de Vaud (2007). Collection sentiers didactiques, `www.randonature.ch/7`
5. Schleiss, A. : Canal du rhin au rhône – une utopie ? Cours Enac, présentation Powerpoint (2008)