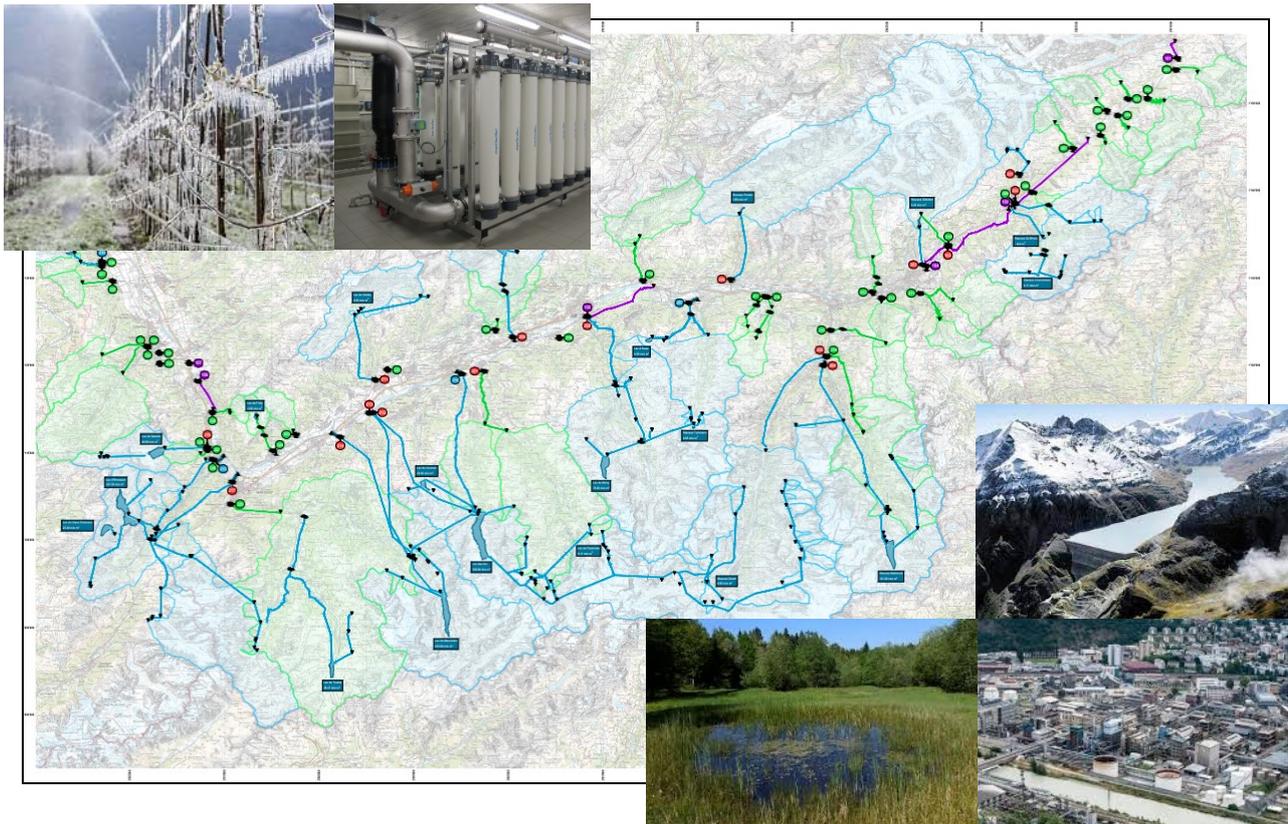


Conduite d'eau multifonctionnelle

Valorisation des eaux turbinées



Rapport technique

SRP Ingenieur SA / géau environnements SA

Brigue, Sierre, Martigny, le 19 octobre 2023

7_cem.doc / 22vs2805_sca et al.



géau environnements SA
Technopôle 3
CH - 3960 Sierre
-
Tel. +41 27 455 67 04
Fax +41 27 455 67 05
-
bureau@geau.ch
www.geau.ch



SRP INGENIEUR AG
Bau und Umwelt

Nordstrasse 16
Rue d'Aoste 12

CH-3900 Brig
CH-1920 Martigny

T +41 27 922 02 00
T +41 27 723 50 47

srp@srp.ch
srp-martigny@srp.ch

www.srp.ch

Table des matières

1.	Cadre et but de l'étude	- 4 -
2.	Contenu et structure de l'étude de faisabilité	- 5 -
3.	Résumé /Zusammenfassung	- 6 -
4.	Offre potentielle en eaux turbinées	- 12 -
4.1	Centrales retenues pour l'étude	- 12 -
4.2	Aspects quantitatifs	- 12 -
4.3	Aspects qualitatifs	- 13 -
4.3.1	Industrie	- 14 -
4.3.2	Eau potable	- 15 -
4.3.3	Agriculture	- 15 -
4.3.4	Milieux humides et aquatiques, pisciculture	- 17 -
5.	Besoins potentiels en eaux turbinées	- 19 -
5.1	Besoins des industries	- 19 -
5.2	Besoins en eau potable	- 20 -
5.2.1	Aspect cantonal – intercommunal	- 20 -
5.2.2	Aspect international – intercantonal	- 21 -
5.3	Agriculture	- 22 -
5.3.1	Irrigation	- 22 -
5.3.2	Lutte contre le gel	- 23 -
5.3.3	Répartition saisonnière des volumes	- 24 -
5.3.4	Apports localisés pour les canaux de plaine (recharge de nappe)	- 25 -
5.4	Milieux aquatiques et humides, pisciculture	- 30 -
5.4.1	Milieu aquatiques	- 30 -
5.4.2	Pisciculture	- 31 -
5.5	Besoins pour la lutte incendie	- 32 -
5.6	Production électrique	- 34 -
5.6.1	Potentiel de production des nouveaux aménagements	- 34 -
5.6.2	Concurrence des aménagements existants	- 35 -
5.6.3	Rentabilité de l'opportunité	- 36 -
5.7	Assainissement des éclusées	- 38 -
6.	Contraintes	- 42 -
6.1	Cadre juridique, influence sur les concessions	- 42 -
6.2	Débits résiduels	- 42 -
6.3	Infrastructures existantes	- 44 -
7.	Synergies avec grands projets	- 44 -
7.1	Projet de l'autoroute	- 44 -
7.2	Projet de la troisième correction du Rhône	- 45 -
8.	Etude de variantes	- 47 -
8.1	Variante 1 Locale – 225 l/seconde	- 48 -
8.1.1	Caractéristiques principales de la variante	- 48 -
8.1.2	Détermination du tracé	- 48 -
8.1.3	Dimensionnement et caractéristiques techniques	- 50 -
8.1.4	Adéquation de l'offre à la demande	- 51 -
8.1.5	Contraintes environnementales, territoriales et paysagères	- 52 -
8.1.6	Production électrique	- 55 -
8.2	Variante 2 Régionale – 30 m³/seconde	- 56 -
8.2.1	Caractéristiques principales de la variante	- 56 -
8.2.2	Détermination du tracé	- 56 -
8.2.3	Dimensionnement et caractéristiques techniques	- 56 -
8.2.4	Contraintes environnementales, territoriales et paysagères	- 58 -
8.2.5	Adéquation de l'offre à la demande	- 61 -
8.2.6	Production électrique	- 62 -
8.3	Variante 3 Internationale – 390 m³/seconde	- 65 -
8.3.1	Caractéristiques principales de la variante	- 65 -
8.3.2	Détermination du tracé	- 65 -
8.3.3	Dimensionnement et caractéristiques techniques	- 66 -

8.3.4	Contraintes environnementales, territoriales et paysagères	- 67 -
8.3.5	Adéquation de l'offre et de la demande	- 71 -
8.3.6	Production électrique	- 71 -
9.	Estimation des coûts	- 73 -
9.1	Variante 1 Locale – 225 l/seconde	- 73 -
9.1.1	Coûts d'investissements	- 73 -
9.1.2	Coûts annuels et prix de vente par m ³	- 74 -
9.2	Variante 2 Régionale pour 30 m³/seconde	- 74 -
9.2.1	Coûts d'investissements	- 74 -
9.2.2	Coûts annuels et prix de vente par m ³	- 75 -
9.3	Variante 3 Internationale– 390 m³/seconde	- 75 -
9.3.1	Coûts d'investissements	- 75 -
9.3.2	Coûts annuels et prix de vente par m ³	- 76 -
10.	Conclusions et proposition de marche à suivre	- 77 -
10.1	Variante 1 Locale	- 77 -
10.2	Variante 2 Régionale 30 m³/seconde	- 77 -
10.3	Variante 3 Internationale	- 78 -
10.4	Marche à suivre	- 78 -
11.	Références	- 79 -
11.1	Etudes préliminaires	- 79 -
11.2	Pisciculture et repeuplement.....	- 79 -
11.3	Lutte contre les incendies	- 79 -
11.4	Agriculture et irrigation, recharge de nappe	- 79 -
11.4.1	Etudes de projet	- 79 -
11.4.2	Etudes et recommandations générales	- 80 -
11.5	Hydroélectricité – éclusées	- 82 -
11.6	Autres	- 82 -
12.	Annexes	- 83 -

1. Cadre et but de l'étude

Le groupement SRP Ingénieur SA – géau environnements SA a été mandaté en décembre 2022 par la Stratégie Eau du canton du Valais pour effectuer une étude de faisabilité concernant une conduite multifonctionnelle récoltant les eaux turbinées des centrales hydroélectriques valaisannes situées à proximité du Rhône, qui s'inscrit au niveau de la stratégie eau du canton.

Cette étude visait à analyser la faisabilité et l'intérêt d'une infrastructure multifonctionnelle dans le cadre des lignes directrices suivantes de la stratégie cantonale : gestion coordonnée de l'eau, alimentation en eau potable, production de l'énergie, approvisionnement de l'économie ou maintien et valorisation des biotopes. Les mesures de la stratégie cantonale qui pourront potentiellement être favorisées par ce type d'infrastructure sont les suivantes : - Planification et utilisation communes de l'infrastructure au sein des bassins versants - Créer une vue d'ensemble systématique de l'alimentation en eau potable dans les Communes valaisannes - Améliorer la sécurité d'approvisionnement par un renforcement de la coopération intercommunale, garantir la disponibilité des eaux d'extinction, optimiser les conditions-cadres de la production hydroélectrique. Les résultats de l'étude doivent permettre de déterminer des suites à donner au niveau cantonal concernant le projet de cette conduite visant la valorisation des eaux turbinées pour la population valaisanne (industries, eau potable, agriculture, lutte incendie, production électrique, ...).

Ce projet peut également s'inscrire dans le cadre de l'assainissement des éclusées des centrales hydroélectriques. L'ADSA (association de défense des sols agricoles) a été intégrée dans la démarche participative qui accompagne l'assainissement des éclusées sur le Rhône. L'étude préliminaire du projet aqueduc, défendu et établi par le bureau Patrick Epiney ingénieurs Sàrl pour l'ADSA fait partie des documents de base du cahier des charges de ce mandat.

Ce mandat a été réalisé avec la collaboration et l'aide du groupe de travail de la Stratégie Eau du canton du Valais comprenant des représentants des services de l'agriculture, des forces hydrauliques, des dangers naturels (torrents latéraux et Rhône 3), des services de l'économie du tourisme et de l'innovation, du service de l'environnement, du service des forêts de la nature et du paysage, du service de la chasse, de la pêche et de la faune ainsi que du service des améliorations structurelles. Une séance de lancement a eu lieu directement après l'attribution du mandat, dans le but de clarifier et de cadrer les différents aspects ainsi que la marche à suivre pour mener à bien cette étude de faisabilité aux problématiques très vastes. Deux présentations intermédiaires ont également eu lieu avec différentes personnes du groupe d'accompagnement avant la remise de cette étude de faisabilité.

2. Contenu et structure de l'étude de faisabilité

Dans un premier temps, cette étude se penche sur l'analyse de l'offre potentielle en eaux turbinées, en traitant aussi bien les aspects quantitatifs que qualitatifs. La deuxième étape concerne la détermination des besoins ou des utilisateurs potentiels de la conduite multifonctionnelle.

Les différentes contraintes légales (débits résiduels) et juridiques (influence sur les concessions) attenantes à ces prélèvements avant leur restitution au Rhône ont également été abordées. Au vu de l'ampleur potentielle de ce projet, une analyse des synergies/conflits a également été menée avec les grands projets actuels (autoroute et R3). A ce titre, le cahier des charges mentionne clairement que le projet de conduite ne doit pas entraver le bon déroulement des autres grands projets en cours.

L'étude de faisabilité définit 3 variantes de dimensionnement. **La Variante 1 Locale** s'appuie sur les besoins identifiés dans le territoire valaisan.

Une **deuxième variante Régionale** part de l'hypothèse que des acheteurs extérieurs, d'autres cantons ou des industries hors canton, auraient un intérêt à prélever jusqu'à 30 m³/s d'eau turbinée au Bouveret en vue d'une potabilisation ultérieure.

Enfin la **variante 3 Internationale** récupérerait la totalité des eaux turbinées par les centrales à accumulation entre Naters et le Léman, en tenant compte d'une hypothèse de superposition maximale des pointes de turbinage théoriques possible

Ces deux derniers cas reprennent en partie les réflexions menées dans le cadre de l'étude préliminaire commandée par l'ADSA.

Pour la définition du tracé et des caractéristiques techniques de ces trois variantes, les différentes contraintes environnementales, territoriales, paysagères et techniques ont été prises en compte. Certains conflits sont inévitables, notamment pour les deux dernières variantes avec une conduite dimensionnée pour le transit de débits conséquents.

Enfin, une estimation des coûts a été effectuée pour chaque variante et des prix de revient par m³ distribués. En fonction des coûts et des opportunités recensées lors de l'élaboration de cette étude, une proposition de marche à suivre est proposée pour continuer les réflexions entamées dans cette étude.

3. Résumé /Zusammenfassung

Le groupement SRP Ingénieur SA – géau environnements SA a été mandaté en décembre 2022 par le groupe de la Stratégie Eau du canton du Valais pour effectuer une étude de faisabilité concernant une conduite multifonctionnelle récoltant les eaux turbinées des centrales hydroélectriques valaisannes situées à proximité du Rhône. Toutes les centrales qui sont situées à proximité de la plaine du Rhône sont prises en compte comme alimentation potentielle de la conduite. Par rapport à l'étude de 2005, les centrales au fil de l'eau sur les torrents latéraux ont été ajoutées, même si les débits et volumes turbinés sont plus faibles.

L'étude des aspects qualitatifs indique que

- d'un point de vue **agricole**, on constate que, sans traitement préalable, la qualité brute des eaux de turbinage présente une qualité et, surtout, une turbidité difficilement compatibles avec tous les systèmes d'arrosage tels que le goutte-à-goutte ou la micro-aspiration ; si une utilisation pour lutter contre le gel – qui demanderait un volume théorique de 23 millions de m³ en considérant 30 jours de lutte répartis entre mars et mai – semble être envisageable, ce besoin en représente qu'une part marginale de l'aquifère au regard des volumes d'eau disponibles actuellement ; une recharge localisée de la nappe pourrait cependant être un élément à étudier de manière plus détaillée à la suite de la présente étude ;
- toutes les analyses effectuées montrent une turbidité trop haute non conforme pour une utilisation directe comme **eau potable** ; par ailleurs, les concentrations en fer et en hydrocarbures solubles – les eaux turbinées étant en contact avec divers équipements (pompes, vannes, turbines, systèmes de refroidissement) présentant des risques de fuites d'hydrocarbures (huiles), contrairement aux mini-centrales turbinant des eaux potables, où les appareils sont conçus en conséquence ; enfin, certains bassins versants présentent des concentrations d'arsenic et d'uranium relativement proches des valeurs limites.

L'étude des aspects quantitatifs et des besoins potentiels montre que :

- les résultats du questionnaire envoyé aux **communes valaisannes** montre qu'elles ont d'ores et déjà une vision à moyen terme des stratégies à mettre en œuvre par rapport aux défis à venir et que de nombreuses collectivités cherchent à interconnecter les réseaux et avoir de ce fait une gestion plus interrégionale des ressources en eau potable ; pour la plupart des communes, un raccord à une conduite multifonctionnelle transportant de l'eau qui doit tout d'abord être potabilisée avec des processus relativement onéreux, n'est pas la solution qui est prioritairement envisagée ; Une commune a d'ores et déjà étudié l'éventualité de récupérer des eaux turbinées d'ici 2100 ;
- un intérêt potentiel pour l'**industrie valaisanne** a été émis par les entreprises contactées. 4 entreprises ;
- pour réduire les rabattements observés certains printemps lors des épisodes de lutte contre le gel, des injections dans la nappe pourraient être envisagées mais nécessiteraient une étude hydrogéologique plus approfondie, notamment d'un point de vue de la perméabilité de l'aquifère et de la teneur en MES acceptable ;
- les **assecs** printaniers ou estivaux que connaissent certains cours d'eau piscicoles découlant de problèmes divers allant des phénomènes météorologiques (absence de précipitations, fonte nivale précoce etc.) à une gestion de l'eau (bisses, captages AEP etc.) pouvant être optimisée, et les taux de matières en suspension contenus dans les eaux pouvant contribuer à colmater des substrats de bonne qualité présents dans divers canaux phréatiques de plaine, le recours à de telles eaux n'est a priori pas souhaitable ;
- d'un point de vue des **milieux humides et aquatiques**, un inventaire de biotopes, établi par le SFNP et le SEN, permettrait d'affiner d'éventuels besoins environnementaux ;
- les éventuels besoins pour **lutter contre les incendies** sont difficilement quantifiables et ne nécessiteraient pas forcément l'usage de la CEM ;
- en considérant les besoins du plan de repeuplement piscicole (17 t), les besoins des **piscicultures** produisant des poissons de repeuplement s'élèvent à environ 310 l/s. Les optimisations entreprises ces dernières années répondent à ces besoins ; même si les capacités

de production dépendent essentiellement des débits disponibles, l'utilisation même temporaire des eaux turbinées limiterait la croissance des salmonidés;

- **l'assainissement des éclusées fait l'objet d'une recherche de consensus pour prioriser des objectifs, qui s'orienteraient plutôt sur des tronçons de la Vispa et de la Borgne.** En termes de turbidité, un risque de non-atteinte des objectifs a été mis en évidence en raison des atteintes connexes à imputer aux gravières, aux travaux en cours (notamment liés à R3), aux crues hivernales et, pour les tronçons en aval de Finges, à la morphologie du fleuve ; la turbidité hivernale – qui constitue un facteur limitant pour les indicateurs principaux, en particulier les poissons – ne pourrait être ainsi améliorée que de l'ordre de 20 à 40% au maximum grâce à l'assainissement des éclusées.

Une analyse des **synergies** avec les grands projets montre que :

- pour le tronçon de l'A9 à Finges, il serait envisageable de placer la conduite au-dessus de la tranchée couverte, en l'intégrant à la topographie finale du projet de traversée de Finges par l'A9 ; la construction de la CEM pourrait débiter à la fin des travaux de l'A9, avant la mise en forme de la topographie finale, aux environs de 2035 ; il n'est en revanche pas possible de placer une telle conduite sous les ouvrages de l'A9 ou latéralement à ceux-ci ni d'utiliser les ouvrages de l'A9 ;
- pour le projet de la troisième correction du Rhône, des synergies ne sont possibles que si l'intégration de la conduite multifonctionnelle au projet n'impacte pas de manière décisive le projet technique en soit des travaux de protection contre les crues ; pour les variantes plus ambitieuses, plusieurs tronçons un conflit entre le projet ; la variante minimale, avec des diamètres sont bien plus petits pourrait être intégrée lors de la construction de nouvelles mesures de protection contre les crues.

L'analyse des **aspects juridiques** indique la reprise des eaux turbinées par la CEM nécessitera l'octroi d'une nouvelle concession à la société gérante ainsi qu'une décision de prélèvement d'eau, indépendamment des concessions existantes qui devra notamment respecter les débits résiduels du Rhône et des affluents latéraux, suite à une pesée des intérêts.

Un potentiel de **production électrique** de la conduite multifonctionnelle est présent même en tenant compte de la concurrence des aménagements existants au fil du Rhône. Toutefois, celui-ci est trop faible par rapport aux coûts supplémentaires qui seraient nécessaires à une utilisation hydroélectrique de la conduite (aménagements électromécaniques, agrandissement de la conduite pour minimiser les pertes de charge et choix d'autres matériaux résistant à la pression interne de la conduite).

Variante 1 Locale (300 litres/seconde - CHF 22 millions)

Par rapport aux besoins et de l'offre à disposition, un tronçon entre Miéville et le Chablais présente un potentiel suffisant pour imaginer la pose d'une conduite multifonctionnelle d'un débit de **225 l/s** pour un coût de **CHF 22 mios**. Cette conduite répondrait à des besoins de l'industrie et surtout à un intérêt à moyen terme pour les communes de pouvoir potabiliser de l'eau turbinée présentant une certaine pression au lieu de potabilisation. Une conduite sous pression présente l'avantage d'une plus grande flexibilité par rapport au tracé et permet ainsi de profiter de synergies potentielles avec les grands projets. Le principal désavantage de ce tracé est directement lié à la concurrence aux aménagements hydroélectriques de Lavey. A noter que d'autres tronçons notamment dans la région de Sierre pourraient présenter un potentiel intéressant, notamment par rapport aux besoins de refroidissement des industries et des projets de réseaux urbains de chauffage à distance.

Variante 2 Régionale (30 m³/seconde – CHF 638 millions)

Cette variante est axée sur la vente d'eau à l'étranger et peut être utilisée à titre indicatif pour des éventuels promoteurs intéressés à ce projet, en ayant à l'esprit que sur plusieurs tronçons ne seront pas compatibles avec le projet de Rhône 3. Cette variante chiffre très grossièrement le prix de revient au m³ au Bouveret d'eau brute sans pression, juste avant son rejet dans le lac Léman. En raison des longues distances potentielles jusqu'aux utilisateurs finaux, il semble globalement plus économique de potabiliser l'eau quasiment sur le lieu de l'utilisation et non dans une usine située au Bouveret.

Variante 3 Internationale (390 m³/seconde – CHF 4 milliards)

Cette variante n'offre quasiment aucune opportunité ni synergie avec le laminage des crues. De ce fait, un effet sécuritaire ou des économies liées à des investissements qui n'auraient plus lieu d'être par rapport au projet de la correction du Rhône ne peuvent pas être comptabilisés dans la balance monétaire du projet. Cette variante ne permet pas non plus de produire de l'électricité de manière rentable, malgré un potentiel net supplémentaire d'environ 390 millions de kWh par année. Cette variante maximale engendrerait par contre une diminution de la problématique des éclusées dans le Rhône. Toutefois, les réflexions actuellement menées pour l'assainissement éclusées indiquent une revue à la baisse des objectifs et montrent que les mesures techniques retenues sont disproportionnées et ne seront pas exigées ;

Au vu du manque d'opportunités, des coûts d'investissements, des conflits engendrés et aux différentes difficultés techniques non résolues dans cette étude, cette variante n'est pas raisonnable par rapport aux coûts d'investissements engendrés, même en tenant compte d'une éventuelle vente d'eau brute au Bouveret.

Zusammenfassung

Die Arbeitsgemeinschaft SRP Ingenieur AG - géau environnements SA wurde im Dezember 2022 von der Wasserstrategiegruppe des Kantons Wallis beauftragt, eine Machbarkeitsstudie für eine multifunktionale Wasserleitung durchzuführen, die das turbinierete Wasser der Walliser Wasserkraftwerke, die sich in der Nähe des Rhône befinden, sammelt. Alle Kraftwerke, die sich in der Nähe der Rhône-Ebene befinden, wurden als potenzielle Einspeisung in die Leitung berücksichtigt. Im Vergleich zur Studie von 2005 wurden die Laufkraftwerke an den Seitenbächen hinzugefügt, auch wenn die turbiniereten Durchflüsse und Volumina geringer sind.

Die Studie zu den qualitativen Aspekten zeigt, dass

- aus **landwirtschaftlicher** Sicht festzustellen ist, dass die Qualität und vor allem die Trübung des Rohwassers aus Turbinen ohne vorherige Behandlung nur schwer mit allen Bewässerungssystemen wie Tropfbewässerung oder Micro-Sprinkleranlagen vereinbar ist; Eine Nutzung zur Frostbekämpfung - die bei 30 Tagen Frostbekämpfung zwischen März und Mai ein theoretisches Volumen von 23 Mio. m³ erfordern würde - scheint zwar denkbar, doch stellt dieser Bedarf im Vergleich zu den derzeit verfügbaren Wassermengen nur einen marginalen Teil des Aquifers dar; eine lokale Grundwasserauffüllung könnte jedoch ein Element sein, das im Anschluss an diese Studie genauer untersucht werden sollte;
- alle durchgeführten Analysen eine zu hohe Trübung zeigen, die für eine direkte Nutzung als **Trinkwasser** nicht geeignet ist. Ausserdem besteht die Gefahr von hohen Konzentrationen von Eisen und löslichen Kohlenwasserstoffen - da das turbinierete Wasser mit verschiedenen Geräten (Pumpen, Ventilen, Turbinen, Kühlsystemen) in Berührung kommt - im Gegensatz zu Mini-Kraftwerken, die Trinkwasser turbinieren, wo die Geräte entsprechend ausgelegt sind; und schließlich weisen einige Einzugsgebiete Arsen- und Urankonzentrationen auf, die relativ nahe an den Grenzwerten liegen.

Aus der Untersuchung der quantitativen Aspekte und des potenziellen Bedarfs gehen folgende Erkenntnisse hervor:

- Die Ergebnisse des Fragebogens, der an die **Walliser Gemeinden** verschickt wurde, zeigen, dass die Gemeinden bereits eine mittelfristige Vision der Strategien haben, die sie im Hinblick auf die kommenden Herausforderungen umsetzen wollen, und dass viele Gemeinden versuchen, die Netze miteinander zu verbinden und so eine interregionale Bewirtschaftung der Trinkwasserressourcen zu erreichen. Die Gemeinde 3 hat bereits die Möglichkeit geprüft, bis zum Jahr 2100 Wasser aus dem Wasserkraftwerk 1 zu gewinnen;
- Die angefragten Unternehmungen zeigen ein potenzielles Interesse für **industrielle Bedürfnisse** auf. Um die in manchen Frühjahren während der Frostbekämpfung beobachteten Grundwasserabsenkungen zu verringern, könnten Injektionen in den Grundwasserleiter in Betracht gezogen werden, was jedoch eine eingehendere hydrogeologische Studie erfordern würde, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und des akzeptablen Schwebstoffgehalts;
- Aufgrund der Frühjahrs- oder **Sommertrockenheit** in einigen Fischgewässern, die auf verschiedene Probleme zurückzuführen ist, die von meteorologischen Phänomenen (ausbleibende Niederschläge, frühe Schneeschmelze usw.) bis hin zu einer optimierbaren Wasserbewirtschaftung (Suonen, Trinkwasserfassungen usw.) reichen, und der Gehalt an Schwebstoffen im Wasser, der zur Verstopfung von Substraten guter Qualität beitragen kann, die in verschiedenen Grundwasserkanälen in der Ebene vorhanden sind, ist die Verwendung des Wassers aus der multifunktionalen Leitung a priori nicht wünschenswert;
- In Bezug auf **Feuchtgebiete und Gewässer** könnte ein von DWNL und DUW erstelltes Biotopinventar helfen, mögliche Umweltaforderungen zu präzisieren;
- der mögliche Bedarf zur **Brandbekämpfung** ist schwer zu quantifizieren und würde nicht unbedingt den Einsatz von der multifunktionalen Leitung erfordern;

- Unter Berücksichtigung des Bedarfs für den Fischbesatzplan (17 t) beläuft sich der Bedarf der **Fischzuchtanlagen**, die Besatzfische produzieren, auf etwa 310 l / s. Die in den letzten Jahren vorgenommenen Optimierungen entsprechen diesem Bedarf; auch wenn die Produktionskapazitäten hauptsächlich von den verfügbaren Wassermengen abhängen, würde eine auch nur vorübergehende Nutzung des turbinierten Wassers das Wachstum der Salmoniden einschränken;
- Die **Sanierung Schwall und Sunk** ist Gegenstand einer Konsensfindung zur Priorisierung von Zielen, die sich eher auf die Abschnitte der Vispa und der Borgne beziehen würden. Die Trübung im Winter - ein limitierender Faktor für die Hauptindikatoren, insbesondere die Fische - könnte durch die Schwallsanierung nur um maximal 20 - 40 % verbessert werden.

Eine Analyse der **Synergien** mit den Großprojekten zeigt Nachfolgendes:

- für den A9-Abschnitt Pfyng-Finges wäre es denkbar, die Leitung über dem gedeckten Einschnitt zu verlegen und sie in die endgültige Topografie des Projekts zur Durchquerung von Pfyng-Finges durch die A9 zu integrieren; der Bau der multifunktionalen Leitung könnte nach Abschluss der Arbeiten an der A9 und vor der Formung der endgültigen Topografie im Jahr 2035 beginnen; es ist hingegen nicht möglich, eine solche Leitung unter oder seitlich von den A9 - Bauwerken zu verlegen oder die A9 - Bauwerke zu nutzen;
- für das Projekt der dritten Rhonekorrektur sind Synergien nur möglich, wenn die Integration der multifunktionalen Wasserleitung das technische Projekt der dritten Rhonekorrektur nicht entscheidend beeinflusst. Bei den zwei grösseren Varianten der multifunktionalen Leitung stehen mehrere Abschnitte in Konflikt mit dem Projekt. Die Minimalvariante mit viel kleineren Durchmessern könnte beim Bau neuer Hochwasserschutzmaßnahmen integriert werden.

Die Analyse der **rechtlichen Aspekte** zeigt, dass die Übernahme des turbinierten Wassers durch die multifunktionale Wasserleitung die Erteilung einer neuen Konzession an die Betreibergesellschaft sowie eine Entscheidung zur Wasserentnahme unabhängig von den bestehenden Konzessionen erfordert, die nach einer Interessenabwägung insbesondere die Restwassermengen der Rhône und der seitlichen Zuflüsse respektieren muss.

Ein **Potenzial für die Stromerzeugung** aus der multifunktionalen Leitung ist auch unter Berücksichtigung der Konkurrenz der bestehenden Anlagen im Verlauf der Rhône vorhanden. Dieses ist jedoch zu gering im Vergleich zu den zusätzlichen Kosten, die für eine hydroelektrische Nutzung der Leitung erforderlich wären (elektromechanische Anpassungen, Vergrößerung der Leitung zur Minimierung von Druckverlusten und Wahl anderer Materialien, die dem Innendruck der Leitung standhalten).

Variante 1 – Lokal (300 Liter/Sekunde - CHF 22 Millionen)

In Bezug auf den Bedarf und das verfügbare Angebot bietet ein Abschnitt zwischen Miéville und dem Walliser Chablais ein ausreichendes Potenzial, um sich die Verlegung einer multifunktionalen Leitung mit einer Ausbauwassermenge von **225 l / s** mit Kosten von **CHF 22 Mio.** vorzustellen. Diese Leitung würde den Bedürfnissen der Industrie und vor allem dem mittelfristigen Interesse der Gemeinde entsprechen, turbiniertes Wasser, das am Ort der Trinkwasseraufbereitung einen gewissen Druck aufweist, in Trinkwasserqualität umwandeln zu können. Eine Druckleitung hat den Vorteil einer größeren Flexibilität in Bezug auf die Linienführung und ermöglicht es so, potenzielle Synergien mit Großprojekten zu nutzen. Der Hauptnachteil dieser Trasse steht in direktem Zusammenhang mit der Konkurrenz zu den Wasserkraftanlagen in Lavey. Es ist anzumerken, dass andere Streckenabschnitte, insbesondere in der Region von Siders, ein interessantes Potenzial aufweisen könnten, vor allem in Bezug auf den Kühlbedarf der Industrie und die Projekte für städtische Fernwärmenetze.

Variante 2 – Regional (30 m³/Sekunde - CHF 638 Millionen)

Diese Variante (30 m³/s – CHF 638 Mio.) ist auf den Verkauf von Wasser ins Ausland ausgerichtet und kann als Anhaltspunkt für mögliche Projektentwickler dienen, die an diesem Projekt interessiert sind, wobei zu beachten ist, dass mehrere Abschnitte nicht mit dem R3 - Projekt kompatibel sind. Diese Variante beziffert sehr grob die Kosten pro m³ in Le Bouveret für druckloses Rohwasser kurz vor der Einleitung in den Genfersee. Aufgrund der potenziell langen Distanzen bis zu den Endverbrauchern scheint es insgesamt wirtschaftlicher zu sein, das Wasser quasi am Ort der Nutzung und nicht in einer Anlage in Le Bouveret trinkbar zu machen.

Variante 3 – International (390 m³/Sekunde - CHF 4 Milliarden)

Diese Variante (390 m³/s – CHF 4 Mia.) bietet praktisch keine Möglichkeiten oder Synergien mit einer Abflachung von Hochwasserspitzen. Daher kann ein Sicherheitseffekt oder Einsparungen durch Investitionen, die im Vergleich zum Projekt der Rhônekorrektur nicht mehr notwendig wären, nicht in der monetären Bilanz des Projekts verbucht werden. Auch kann mit dieser Variante trotz eines zusätzlichen Nettopotenzials von rund 390 Mio. kWh pro Jahr kein Strom wirtschaftlich erzeugt werden. Diese Variante würde hingegen zu einer Verringerung der Schwall – Sunk - Problematik in der Rhône führen. Die aktuellen Überlegungen zur Schwall – Sunk - Sanierung deuten jedoch auf eine Absenkung der Ziele hin und zeigen, dass die gewählten technischen Maßnahmen unverhältnismäßig sind und nicht gefordert werden;

Angesichts der fehlenden Möglichkeiten, der Investitionskosten, der entstehenden Konflikte und der verschiedenen technischen Schwierigkeiten, die in dieser Studie nicht gelöst wurden, ist diese Variante im Vergleich zu den entstehenden Investitionskosten nicht sinnvoll, selbst wenn man einen möglichen Verkauf von Rohwasser in Le Bouveret berücksichtigt.

4. Offre potentielle en eaux turbinées

4.1 Centrales retenues pour l'étude

Toutes les centrales qui sont situées à proximité de la plaine du Rhône sont prises en compte comme alimentation potentielle de la conduite. Par rapport à l'étude de 2005, les centrales au fil de l'eau sur les torrents latéraux ont été ajoutées. Même si les débits et volumes turbinés sont plus faibles, ces centrales ont un potentiel très intéressant pour couvrir divers besoins locaux. Elles sont en effet bien réparties dans l'entier du canton et ont un profil de turbinage beaucoup plus régulier que les centrales à accumulation. Les centrales d'eau potable n'ont été pas retenues dans le cadre de cette étude. Un plan de situation (12 – plan 1) comprenant les aménagements hydroélectriques du Valais considérés ainsi que leurs bassins versants correspondants est rendu dans le cadre de cette étude de faisabilité. Pour chaque centrale, les informations pertinentes par rapport à ce mandat ont été synthétisées dans un tableau intégré dans le plan (Nom de l'aménagement, puissance, débit équipé, date de mise en service, date de fin de concession, volumes turbinés en hiver et en été, notification d'assainissement par rapport aux éclusées – plan 1). Les centrales qui ont reçu une décision d'assainissement des éclusées sont représentées en rouge. Pour améliorer la compréhension visuelle du plan, diverses informations concernant les tracés des galeries d'adduction et des conduites forcées ont été digitalisées de plusieurs sources d'information. Le plan contient également des informations sur les lacs d'accumulation présents en Valais.

Les centrales étudiées dans le cadre de cette étude sont catégorisées de la manière suivante :

- centrales à accumulation ;
- centrales au fil de l'eau – eaux des torrents latéraux ;
- centrales au fil de l'eau - eaux du Rhône (ces centrales ne sont logiquement pas considérées comme alimentation potentielle de la conduite, mais leur intégration permet de mieux se rendre compte visuellement des potentiels conflits avec la production électrique).

4.2 Aspects quantitatifs

L'offre est en grande partie assurée par les grands aménagements à accumulation répartis sur l'ensemble du territoire valaisan. Les volumes turbinés par les 18 plus grandes centrales à accumulation du Valais représentent environ 3'070 mios m³ annuels et un débit théorique moyen de 97.4 m³/s. Ces volumes correspondent à plus de 58% des débits qui transitent dans le Rhône à la porte du Scex. L'offre absolue est donc extrêmement haute. Les volumes turbinés en été et en hiver pour ces principales centrales à accumulation sont représentés ci-dessous (Figure 1).

200 Centrales à accumulation										
Numéro	Nom	Nom de l'aménagement	Puissance [MW]	Débit turbiné [m ³ /s]	Hauteur de chute	Première mise en service	Fin de concession	Production annuelle [mio kWh]	Volumes turbinés [mio m ³]	
									(Hiver)	(Ete)
201	FIESCHERTAL	FIESCHERTAL (GKW3)	64.00	15.00	525.00	1975	2055	167.3	11.8	134.4
202	MUBISA (NEUBRIGG)	NEUBRIGG-RAPPENTAL (GKW1)	25.00	4.50	741.00	1964	2045	73.1	10.0	35.3
203	BITSCH (BIEL)	ELECTRA-MASSA	331.00	55.00	753.00	1969	2048	742.8	29.0	396.9
204	STALDEN	KW MATT MARK	180.00	20.00	1029.00	1965	2046	528.8	100.3	121.6
205	ACKERSAND 2	ACKERSAND 2	63.00	14.00	530.00	1958	2045	155.1	26.2	100.1
206	STEG	LOETSCHEN	120.00	22.00	667.00	1976	2055	335.1	32.9	184.0
207	TURTMANN	AGRESSA	20.00	3.90	776.00	1925	2088	75.9	15.7	29.2
208	CHIPPIS (NAVISENCE)	FM DE LA GOUGRA	70.00	11.50	594.00	1908	2084	300.5	93.9	124.6
209	ST-LEONARD	ELECTRICITE DE LALIENNE	35.50	10.50	417.00		2037	98.4	60.5	47.7
210	CHANDOLINE	LA DIXENCE	142.00	25.00	1878.00		2031	214.0	26.0	23.2
211	ARDON	LIZERNE ET MORGE	48.50	7.50	833.00	1960	2052	154.6	13.4	66.7
212	BIEUDRON	GRANDE DIXENCE	1200.00	75.00	1883.00	1999	2044	2709.3	346.5	274.7
213	NENDAZ	GRANDE DIXENCE	384.00	45.00	1014.00	1960	2044	1226.3		
214	RIDDES	FM DE MALVOISIN	268.00	28.75	1026.00	1956	2041	707.7	167.7	130.2
215	LA BATIAZ	EMOSSON	185.00	35.00	667.00	1978	2055	439.1	157.6	126.7
216	VERNAYAZ (CFF)	VERNAYAZ (CFF)	92.60	17.40	647.00	1927	2017	203.8	73.3	71.2
217	MIEVILLE	SALANFE	65.00	6.50	1476.00	1950	2033	123.9	14.6	23.9
218	VOUVRY	VOUVRY	4.50	0.92	944.00	1902	2080	5.5	1.5	1.2

Figure 1 Centrales à accumulation, puissances, débits et volumes turbinés. Source : SEFH

Outre les variations saisonnières qui peuvent être appréhendées dans le tableau ci-dessus, il existe des variations hebdomadaires et journalières extrêmement importantes. Au niveau hebdomadaire, on remarque une baisse des débits turbinés lors des week-ends. Durant la journée, il y a également des baisses de production importante durant la nuit (Figure 2).

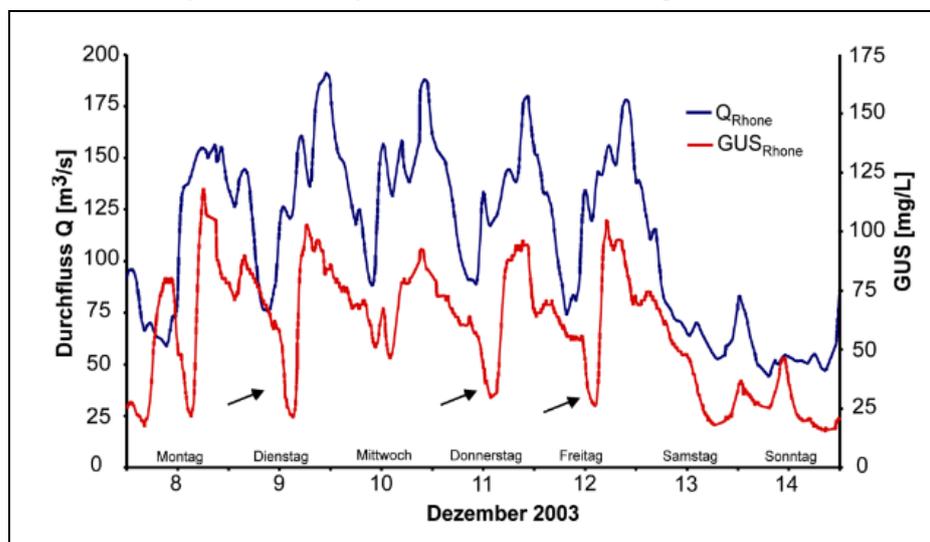


Figure 2 Variations hebdomadaires et journalières des débits du Rhône à la Porte de Scex en décembre 2003. Source : (Meile et al. 2005).

L'annexe 7 contient les profils de production des principales centrales à accumulation du Valais pour l'année 2004. Ces graphiques ont été repris tel quel de l'étude de 2005 du bureau GADZ SA. La stratégie de gestion de ces aménagements évolue continuellement avec le marché de l'électricité et ces graphiques représentent uniquement une vision ponctuelle de 2004 mais illustrent pleinement cette variabilité tout au long de l'année à différentes échelles temporelles. L'adéquation entre l'offre en eau turbinée et les différents besoins potentiels est traitée de manière séparée selon les variantes dans les chapitres suivants.

4.3 Aspects qualitatifs

Sur la base de prélèvements ponctuels menés en octobre 2005 puis présentés dans les rapports de GDAZ (2005) et de SunAlpes Group (2006) ainsi que d'autres données récoltées dans différentes études, les aspects qualitatifs sont traités au regard des différents « besoins », à l'exception des thématiques traitant de la lutte contre les incendies, de la production électrique, de la protection contre les crues et de l'assainissement des éclusées, pour lesquelles les aspects qualitatifs ne revêtent qu'une importance secondaire, voire nulle.

Tableau 1 Aperçu de la qualité physico-chimique des restitutions (octobre 2005) en considérant les paramètres (potentiellement) problématiques au regard des différents usages potentiels ou envisagés : les centrales de Riddes (FMM), Chippis (FMG - Navisence) n'ont pas été échantillonnées. Source : SunAlpes Group (2006). N.B : les surlignages se rapportent aux critères limites ou dépassés pour les thèmes liés à l'irrigation (vert), à l'élevage de salmonidés ou à l'eau potable (bleu)

Centrale	Turbidité	Dureté	Conduct.	E. Coli	Entérocoques	Fe	Mn	SO ₄	U	As
	Mg/L	°F	µS/cm	n/100 ml	n/100 ml	Mg/L	Mg/L	Mg/L	µg/L	µg/L
Miéville	2	10	166	6	0	0.015	0.0025	16	0.24	0.34
Vernayaz	13	5.2	97	215	300	0.47	0.031	15	22.77	1.8
La Bâtiaz	26	3.8	65	93	53	1.019	0.017	11	25.91	4.63
Ardon	21	24.4	416	60	18	0.113	0.0337	147	0.84	0.86
Nendaz	44	3.9	72	2	5	1.75	0.0337	13	0.84	0.86
Bieudron	44	3.9	72	2	5	1.75	0.0337	13	0.84	0.86
Chandoline	44	3.9	72	2	5	1.75	0.0010	13	2.7	1.65
St-Léonard	4	9.3	166	8	0	0.053	0.0026	16	0.96	1.42
Turtman	5	6	136	2	10	0.035	0.025	25	1.64	1.1

n										
Stalden	13	7.7	118	210	53	0.407	0.0105	22	2.72	2.28
Bitsch	36	6.9	52	0	3	0.92	0.0036	26	1	1.53
Aletsch	36	6.9	52	0	3	0.92	0.0036	26	1	1.53

Si le **régime thermique** des restitutions ne nous est pas connu, les données de températures acquises dans le cadre de l'assainissement des éclusées sur le Rhône¹ (Alpiq et al. 2022) ou sur la Salanfe (géau et biol, 2023a et b) montrent qu'à l'aval des restitutions :

- la courbe de variation journalière naturelle est masquée par un refroidissement ou un réchauffement de la température de l'eau par éclusée ; comme l'eau turbinée par les centrales provient de grands lacs d'accumulation, cette eau est généralement plus fraîche, selon la saison, que celle du cours d'eau, qui se réchauffe sous l'effet du rayonnement solaire et de l'énergie de frottement ;
- par grand froid, l'eau turbinée des restitutions peut toutefois être légèrement plus chaude que l'eau du cours d'eau à l'amont de la restitution; à l'arrêt des turbines, la température du tronçon d'éclusée s'adapte à nouveau au niveau à l'amont de la restitution de l'eau ;
- l'influence des éclusées est en principe plus importante en été, en raison de la différence de température plus grande entre l'eau résiduelle et l'eau turbinée à partir de la centrale, qu'en hiver, où les différences de température sont plus faibles en raison du réchauffement moins important de l'eau dans le tronçon à débit résiduel ;
- les variations importantes de température sont plus marquées dans les tronçons à faible débit de base, en particulier dans les rivières latérales ; dans le Rhône, l'effet s'atténue vers l'aval², soit en raison d'une augmentation du débit de base, soit en raison d'une augmentation de la distance par rapport aux points de rejet des centrales ;
- les évaluations de l'indicateur Q1* (5.6.2) montrent que dans la Vispa, la Lonza et la Lizerne, les éclusées entraînent une perturbation importante ; dans le Rhône, la perturbation importante se limite aux tronçons à l'aval de la restitution de la centrale de Bitsch ;
- sur la Salanfe, une différence de +2°C est observée en hiver (passage à 4°C au lieu de 2°C) et de -4 à -5°C en été (passage de 9.5 à 5°C - Figure 3).

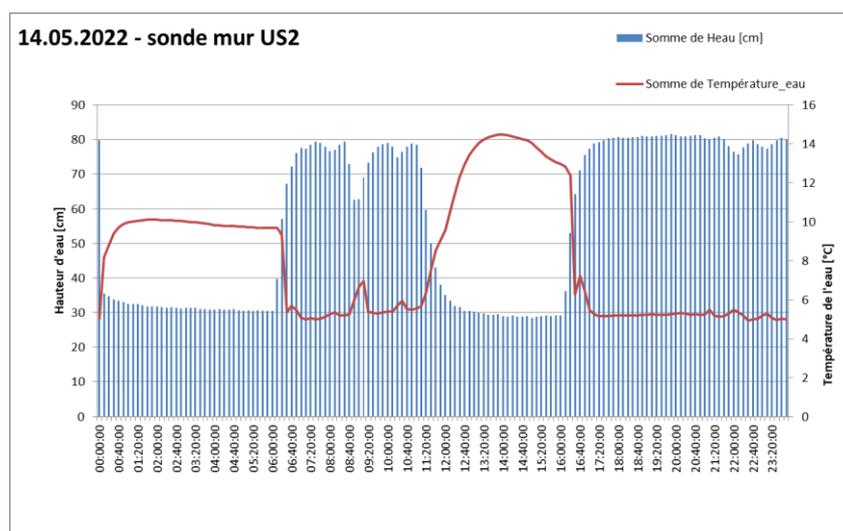


Figure 3 Débits et températures le 14.05.22.

4.3.1 Industrie

Plusieurs industries utilisent d'importants volumes d'eaux froides dans leurs processus de fabrication, l'eau serait directement disponible avec ou sans traitement préalable selon les besoins

¹ et certains affluents.

² En raison de son régime glaciaire, les eaux du Rhône restent froides toute l'année (entre 2-4°C en hiver et 8-10°C en été).

(5.1

4.3.2 Eau potable

Toutes les analyses effectuées montrent une turbidité trop haute non conforme pour une utilisation directe comme eau potable. Par ailleurs, les concentrations en fer et en hydrocarbures solubles – les eaux turbinées étant en contact avec divers équipements (pompes, vannes, turbines, systèmes de refroidissement) présentant des risques de fuites d'hydrocarbures (huiles), contrairement aux mini-centrales turbinant des eaux potables, où les appareils sont conçus en conséquence³ - sont pour la plupart des centrales supérieures ou extrêmement proches des valeurs limites selon l'ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public⁴. Certains bassins versants (surtout Emosson) présentent des concentrations d'arsenic et d'uranium relativement proches (ou au-dessus pour le deuxième paramètre) des valeurs limites. Même si ces eaux sont à priori vierges de micropolluants et que les activités concernent essentiellement la pâture du bétail⁵ dans les bassins versants alimentant les barrages, une pollution bactériologique persiste dans toutes les restitutions, les rendant impropres à la consommation humaine. Les critères de potabilité sont également dépassés par rapport aux métaux lourds ou à la matière organique. Des traitements seraient nécessaires pour une potabilisation de l'eau mais l'exemption de micropolluants dans ces eaux représente un atout.

4.3.3 Agriculture

4.3.3.1 Aspersion

Contrairement à ce qu'avance l'étude préliminaire, les eaux turbinées présentent une qualité limitée pour des cultures destinées à la consommation à l'état cru et dont les parties comestibles sont arrosées avec l'eau d'irrigation puisque le cahier des charges de SwissGAP (2017) considère une eau d'aspersion comme appropriée lorsque le nombre de colonies d'entérocoques est inférieur à 300 n/100 ml et celui des *Escherichia Coli* en-dessous de 1'000 n/100 ml. Des analyses menées par Etec et PhycoEco sur la restitution des FMB, en mars et octobre 2011, révélaient même une présence d'Entérocoques⁶ supérieure (600/450). On relèvera aussi qu'à l'exception des aménagements de Miéville, St-Léonard et Turtmann, les taux de matières en suspension sont élevés et limitent fortement une éventuelle réutilisation des eaux turbinées pour la micro-aspersion ou le goutte-à-goutte (4.3.3) ou une réinjection directe dans la nappe (5.3.4) ainsi que l'élevage de salmonidés (5.4) Si les eaux turbinées sont des eaux douces à très douces mais fortement déséquilibrées au regard de l'équilibre calco-carbonique, pouvant donc aggraver la corrosion des métaux tels que le fer ou le cuivre et, ainsi, se révéler agressives pour les conduites ;

³ En particulier, aucune huile n'est utilisée dans les organes de commande.

⁴ Valeurs limites selon l'état en juillet 2020.

⁵ à laquelle s'ajoute la présence disséminée de quelques chalets et refuges.

⁶ Qui s'expliquait alors par des contaminations dues aux rejets de certaines STEP, où des rejets d'eaux usées (ou déversements du réseau d'assainissement) étaient suspectés.

4.3.3.2 Goutte-à-goutte

En tenant compte des normes de Mosler (1998 - Tableau 2), les teneurs en fer relevées en 2005 (Tableau 1) tendent à indiquer que les eaux turbinées brutes pourraient entraîner un risque de colmatage moyen à élevé pour les installations⁷. Celui-ci serait cependant faible au regard de la turbidité des eaux.

Tableau 2 Evaluation semi-quantitative du risque de colmatage des goutteurs au regard de différents paramètres pouvant aussi la précipitation du calcaire ou la prolifération de micro-organismes. Source : Mosler (1998).

Paramètre	Risque de colmatage		
	Faible	Moyen	élevé
MES [mg/L]	< 50	50-100	> 100
pH [-]	< 7	7-8	> 8
Dureté	< 8	8-16	> 16
Fer [mg/L]	< 0.2	0.2-1.5	> 1.5
Manganèse [mg/L]	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

4.3.3.3 Lutte contre le gel

Sans considérer les situations de coteau et à l'éventuelle exception de la cerise, l'aspersion est le moyen de lutte contre le gel le plus efficace jusqu'à -7°C. Le principe consiste à établir un équilibre eau-glace autour des organes végétaux afin de les maintenir à 0°C par le biais d'un arrosage homogène et continu. La protection des cultures est ainsi obtenue par l'énergie calorifique dégagée par l'eau lorsque celle-ci passe de l'état liquide à l'état solide puisqu'un gramme d'eau, en se congelant, produit 80 calories⁸. En utilisant l'aspersion, on maintient le végétal ou sur l'organe à protéger une quantité d'eau en état constant de congélation, dans une proportion telle que la température de la plante ne descende pas au-dessous du seuil critique. Perraudin (1961 et 1975) relevait que déterminer la pluviométrie optimale était difficile puisque :

- les calories nécessaires à la plante pour maintenir sa température au-dessus du seuil critique varient avec la température de l'air ;
- il faudra d'autant plus de calories - soit d'autant plus d'eau en état de congélation - que l'écart entre la température critique et celle de l'air sera plus élevé ; la quantité d'eau nécessaire est également fonction de l'humidité relative de l'air⁹ ;
- la quantité d'eau utilisée et retenue par la plante dépend également de la fréquence d'aspersion ; si celle-ci est trop faible, la température de la glace s'abaissera au-dessous de la température critique par manque d'eau de congélation ; au contraire, si la vitesse de rotation des arroseurs est trop grande, on obtiendra un excès d'eau inutilisable pour le végétal, puisqu'elle ne pourra pas s'y congeler dans sa totalité (à confronter avec théorie à Paul-Marie qui dit qu'on doit plus arroser) ;
- le temps d'aspersion est également à considérer, car celui-ci contribue à déterminer, pour un débit donné, la quantité d'eau retenue et se congelant sur le végétal. Cette quantité sera inversement proportionnelle à la durée de l'aspersion.

Si de nombreuses recherches ont étudié les durées et fréquence d'aspersion ainsi que la densité ou les vitesses des arroseurs (ou pluviométrie)¹⁰, aucune recherche, directive ou recommandation n'a

⁷ Les filtres doivent retenir des particules qui sont jusqu'à 10 fois plus petites que le plus petit orifice d'un goutteur, qui a environ 1 mm de diamètre. L'Agroscope (2010) recommande ainsi une filtration fine de 130µ pour la micro-aspersion et très fine (100µ) pour le goutte-à-goutte.

⁸ Seule une partie des calories est utilisée par la plante puisque la glace rayonne dans toutes les directions.

⁹ Pour un froid donné, plus l'air est sec, plus la quantité d'eau devra être élevée : si un cm³ d'eau en s'évaporant prend à la plante près de 600 calories, la même quantité d'eau n'en fournit que 80 en se congelant

¹⁰ Sur la base de 40 essais entrepris avec une eau à 10°C par Perraudin (1961), montrait notamment que pour une température témoin de -6°C, une pluviométrie de 3 à 3.5 mm était nécessaire pour maintenir le végétal à 0°C

été trouvée concernant la température des eaux utilisées.

Le recours aux eaux turbinées – dont la température est inférieure à celles, la plupart du temps utilisées, de la nappe – pour lutter contre le gel est possible¹¹ et les besoins pour lutter contre le gel ont été estimés (5.3.2).

4.3.3.4 Apports localisés pour les canaux de plaine (recharge de nappe)

Comme il est nécessaire de tenir compte de la taille des particules et la taille des pores de la matrice de l'aquifère en plus de la concentration en particules, déterminer les concentrations en MES acceptables est un exercice périlleux, d'autant qu'une compilation d'études laisse apparaître des valeurs maximales admissibles affichant une grande hétérogénéité difficilement comparable avec les cas particuliers d'infiltration d'eaux usées¹² :

- Du et al. (2014) mettent en évidence l'importance du ratio entre la taille des pores D et la taille des particules d (où, si $D/d50 < 5.5$ = colmatage de surface ; si > 180 = colmatage intérieur) ;
- Song et al. (2019) ont développé l'indicateur MFI (*Membrane Filtration Index*) pour calculer le potentiel de colmatage engendré par les particules en suspension et issu de l'équation de régression développée par Dillon et al. (2001) où $MFI [s/L^2] = 15.2 * \text{concentration des particules en suspension}$;
- Siriwardene et al. (2007) indiquent qu'un colmatage physique est principalement causé par des particules de diamètre inférieur à 6 microns ;
- à ce titre, Dillon et al. (2019) indiquent que pour éviter tout colmatage, le MFI doit être inférieur à 2, soit 0.13 mg/L tandis que Zhang et al. (2020) parlent de valeurs maximales entre 3 et 5 (0.19 et 0.32 mg/L) tolérées aux Pays-Bas ; enfin Jeong et al. (2018) citent une limite à 3 s/L2 également et mentionnent des études mettant en évidence des problèmes de colmatage pour des concentrations de 0.5 à 1 et 2 mg/L ;
- si des concentrations de 10 mg/L (Vialle et al. 2011) à 25 mg/L (Pavelic et al. 1998) ont pu être considérées comme acceptable pour des eaux destinées à recharger les nappes, Pyne (1995) indique qu'une concentration de 2 mg/L peut déjà provoquer un colmatage, ce que confirmaient déjà auparavant Okubo et Matsumoto (1983) ;
- en considérant la 2 mg/L de MES comme teneur maximale, l'utilisation de l'eau sans prétraitement ne serait donc théoriquement possible que pour trois ouvrages (Tableau 1).

4.3.4 Milieux humides et aquatiques, pisciculture

Les critères qualitatifs revêtent surtout une importance pour l'élevage de salmonidés. Même si les capacités de production dépendent essentiellement des débits disponibles (5.4), d'autres paramètres physico-chimiques revêtent également une importance particulière. A ce titre et en se référant aux analyses disponibles (Tableau 1), les eaux turbinées :

- présentent des teneurs en formes azotées (ammonium, nitrites et nitrates) très faibles convenant à la vie aquatique ;
- conviendraient à l'élevage de salmonidés¹³ au regard des MES (< 80 mg/l), de la conductivité (20-500 $\mu S/cm$), du zinc (< 0.03-0.005 mg/l), de l'ammonium (< 10 mg/l), du calcium (0-200 mg/l), du manganèse (<0.3-0.5 mg/l¹⁴), du nickel (<0.01-0.02 mg/l), du plomb (<0.03 mg/l), du cadmium (< 0.04 mg/l) ;
- présentent toutefois, dans la plupart des restitutions, des valeurs qui dépassent les valeurs limite pour le cuivre (< 6 $\mu g/l$, plus particulièrement celle de Stalden (12.44)) et le fer (< 0.3-0.5 mg/l) ou, dans le cas de la restitution de la Lizerne, celle des sulfates (0-50 mg/l).

¹¹ Com. pers. de M. Sven Knieling (responsable secteur technique et production et domaines) du 11 juillet, qui cite à titre d'exemple l'Autriche.

¹² Et difficilement comparables avec les cas particuliers d'infiltration d'eaux usées puisque Winter et Goetz (2003) recommandent, par exemple, de limiter à 100 mg/L et la teneur des MES et 5 g/m² la charge journalière.

¹³ Selon les critères d'Arrignon (1998) et/ou

¹⁴ Les concentrations de manganèse dans les eaux de surface naturelles atteignent rarement 1,0 mg/L; elles sont habituellement inférieures ou égales à 0,2 mg/L. Bien que plusieurs tableaux de référence sur les qualités physico-chimiques de l'eau recommandées pour l'élevage des salmonidés fixent un seuil maximal de 0,01 mg/L pour ce métal, il n'est pas si toxique en pisciculture à cause de la prédominance de la forme oxydée (Mn⁴⁺) dans l'eau d'élevage bien oxygénée.

L'utilisation des eaux turbinées – même en soutien temporaire – limiterait aussi la diversité des invertébrés aquatiques et, surtout, limiter la croissance des salmonidés dans le cas d'élevages : les plages thermiques se situant entre 5 et 18°C pour la truite fario¹⁵ (optimum 10-14°C) et entre 12 et 21°C pour la truite arc-en-ciel (optimum 16-17°C), une chute de 4°C entraînerait déjà une diminution de la croissance des salmonidés de 43%. Si la température descend à 7°C, la chute s'élève à 61% et la truite arc-en-ciel ne s'alimente théoriquement plus en-dessous de ce seuil.

Enfin, les taux de matières en suspension contenus dans les eaux entraîneraient des dépôts pouvant contribuer à colmater les substrats et n'est pas souhaitable dans les canaux phréatiques où des substrats offrant des conditions de reproduction naturelle (effective ou supposée l'être) sont présents (notamment le Grand Canal de Granges, la canal Sion-Riddes, la Sarvaz et son prolongement le canal Leytron-Saillon-Fully).

¹⁵ Espèce principalement utilisée pour le repeuplement.

5. Besoins potentiels en eaux turbinées

5.1 Besoins des industries

À la suite d'une séance de préparation a eu lieu avec le SETI¹⁶, les entreprises avec des intérêts potentiels pour une conduite multifonctionnelle ont été contactées. A ce jour, un intérêt potentiel a été mentionné par 4 entreprises.

Au cours des discussions avec les différents acteurs, d'autres besoins ou utilisateurs potentiels ont été cependant été évoqués et sont mentionnés dans le rapport technique et le plan de situation. Il s'agit notamment de de différents projets de chauffage à distance ou de refroidissement en ville. Il s'agira dans les éventuelles phases ultérieures de ce projet de prendre en compte également ces potentiels besoins afin d'optimiser le projet et de renforcer ainsi ses chances de réalisation.

¹⁶ Service économie, tourisme et innovation.

5.2 Besoins en eau potable

Les besoins en eau potable sont étudiés dans le cadre de cette étude de faisabilité pour deux aspects différents. Le premier aspect se concentre sur les besoins des communes valaisannes tandis que le deuxième aspect prend en compte des éventuels besoins intercantonaux ou internationaux.

5.2.1 Aspect cantonal – intercommunal

Afin d'appréhender au mieux les besoins valaisans en eau potable, toutes les communes attenantes au Rhône entre Gletsch et le Léman ont été contactées. Parallèlement, un questionnaire en allemand et en français a été envoyé afin de poser des questions plus précises sur l'évolution à moyen terme de cet approvisionnement et d'un éventuel intérêt à se connecter à une conduite multifonctionnelle qui fournirait de l'eau brute pour une potabilisation ultérieure. Pour les communes les plus peuplées ainsi que pour celles intéressées au projet, des séances de présentation et de discussion personnalisées ont été organisées. Les protocoles de ces séances ainsi que les réponses au questionnaire sont disponibles en annexe.

A l'issue de ces démarches, il apparaît que :

- les communes valaisannes sont conscientes des défis à venir par rapport à un approvisionnement en eau potable en quantités et qualité suffisantes ; la plupart des communes ont d'ores et déjà une vision à moyen terme des stratégies à mettre en œuvre par rapport aux défis à venir ;
- des mesures de rationalisation des besoins, de minimisation des pertes des réseaux et de diversification de la ressource sont souvent planifiées ;
- en parallèle, de nombreuses collectivités cherchent à interconnecter les réseaux et développer une gestion plus interrégionale des ressources en eau potable ; indirectement, par la mise en relation de deux responsables de réseaux d'eau dans le Haut-Valais, ce projet de conduite multifonctionnelle a permis de faire avancer un projet d'interconnexion des réseaux d'eau potables des deux réseaux ;
- pour la plupart des communes, un raccord à une conduite multifonctionnelle transportant de l'eau qui doit tout d'abord être potabilisée avec des processus relativement onéreux, n'est pas la solution qui est prioritairement envisagée pour les communes ; la priorité réside clairement en une meilleure répartition de l'eau déjà potable. D'ailleurs, en cas de réalisation de ce projet, plusieurs communes ont fait part de leur intérêt à poser une conduite dédiée uniquement à l'eau potable dans la même fouille que la conduite multifonctionnelle ;
- diverses communes ont également mentionné lors des discussions, qu'il n'était pour leurs éventuels besoins en eau brute pas forcément optimal de se raccorder à une conduite centralisée le long de la plaine du Rhône qui engendrerait des coûts de construction élevés.

Il y a de nombreuses centrales relativement bien réparties sur le territoire valaisan et potentiellement les communes peuvent donc utiliser directement ses eaux qui souvent également leur appartiennent. Les raccords à ces eaux brutes ne nécessitent, dans la plupart des cas, qu'un rallongement minimal du réseau. Dans le futur, diverses communes ont toutefois fait part de leur intérêt à un tel raccord, notamment comme sécurité supplémentaire d'approvisionnement avec l'éventualité de prendre des eaux depuis l'usine comme par exemple de Miéville à l'horizon 2100. Un avantage décisif de cette variante par rapport à d'autres solutions réside dans le fait que l'eau captée arriverait avec une pression de presque 50 m, ce qui réduirait ensuite les coûts de pompage. Le résultat de ces différentes prises de contact a été synthétisé du mieux possible dans un plan de situation. Les communes qui d'après les informations récoltées possèdent un surplus d'eau de source toute l'année ont été marquées en vert, afin de mieux visualiser les éventuels intérêts d'une conduite qui serait entièrement dédiée à l'eau potable. Ces réflexions pour une conduite d'eau potable n'ont pas été menées plus loin, car elles ne concernent pas directement ce mandat qui concerne les eaux turbinées. L'intérêt des communes valaisannes est toutefois plus élevé pour cette conduite d'eau potable que pour la conduite multifonctionnelle.

5.2.2 Aspect international – intercantonal

Les besoins en eau potable se sont limités au canton du Valais et les prestations de la présente étude se sont limitées à déterminer le tracé, les coûts grossiers et les impacts d'une conduite qui répondrait éventuellement à ce besoin pour un raccord d'éventuels tiers au Bouveret.

Depuis le Bouveret, il faudrait ensuite transporter cette eau jusqu'à un centre de potabilisation à proximité des clients finaux et l'injecter dans un réseau d'eau potable sous pression.

Par rapport aux réflexions menées dans l'étude préliminaire (Patrick Epiney ingénieurs Sàrl), un cas de dimensionnement de la conduite à un débit de pointe de 30 m³/s a été pris en compte pour une éventuelle vente à des acheteurs intercantonaux ou internationaux. En estimant grossièrement la consommation journalière d'eau potable à 150 litres par habitant, un débit maximum de 30 m³/s fournirait de l'eau pour un bassin de population d'environ 17.3 millions de personnes.

Une analyse pour déterminer la plausibilité de cet ordre de grandeur et les éventuelles influences politiques que des transferts d'eau entre différents bassins versants impliqueraient n'ont pas été traitées ici.

5.3 Agriculture

5.3.1 Irrigation

Les différentes études existantes sur les besoins en irrigation de la plaine du Rhône ne nous étant encore parvenus, une estimation a tout de même été faite :

- en retenant les zones d'affectation agricole en pied de coteau de Mörel à Port-Valais ;
- en se basant sur les statistiques pluviométriques (2002-2022) des stations de Brig (Haut-Valais), Sion (Valais central) et Aigle (Bas-Valais)
- en distinguant succinctement¹⁷, pour le Valais central, les cultures fruitières (poiriers/pommiers) et viticoles puis en considérant, de manière uniforme, des cultures maraîchères dans le Bas-Valais et des prairies dans le Haut-Valais¹⁸.

Si l'Agroscope (2012) estimait à moins de 25 millions de m³ les besoins annuels moyens valaisans¹⁹, notre estimation fournit un volume d'environ 37 mios de m³ (Figure 6). On précisera que les pommiers/poiriers consomment environ deux fois plus d'eau que les abricotiers mais 25% de moins que les pruniers et que plusieurs dizaines d'hectares cultivés mais non affectés en zone agricole ont été inclus dans notre calcul,. En soustrayant aux surfaces retenues les projets d'irrigation récemment réalisés ou en cours (Tableau 3) ou considérés comme fonctionnels (p. ex. le domaine de Pfyngut (env. 110 ha), inclus dans le concept de lutte contre les incendies à Finges, le volume nécessaire peut être réduit d'environ 16%.

Tableau 3 Synthèse des projets d'irrigation et de lutte contre le gel réalisés récemment (ou en cours de réalisation) dans le canton du Valais. Source : géau (2019) et SCA-OAS (L. Roduit le 29.03.23 et M. Bellwald le 05.05.23). N.B.1 : Dans les projets prévoyant le forage ou le battage d'un puits, on considère qu'un puits alimente une surface de 4 à 5 ha. N.B 2 : dans la Haut-Valais, la liste n'est pas forcément exhaustive, certains projets ayant été réalisés à l'époque sans le soutien de l'office des améliorations structurelles. N.B. 3 : le statut des projets aux Barères, au Brésil et aux Grands Ilôts doivent encore être validés par l'Office des améliorations structurelles. N.B. 4 : en l'absence de données cartographiques pour le projet de Raron-Visp-Baltschieder (154 ha), on a comptabilisé respectivement 60, 60 et 34 hectares.

Projet	Commune	Superficie [ha]	Superf. plaine [ha]	Ressource(s)	Etat d'avancement à mars-avril 23	Débit d'équip. [m ³ /h]
Fëbbwässerung I - IV Blappe	Sägsch	190	40	bisse/ eaux superficielles	réalisé, décompté	450
Beregungsanlage St. Jbselheim Susten	Leuk	40	40	eaux souterraines	réalisé, décompté	108
Bewässerung Susten-Pletschen	Leuk	190	90	bisse/ eau d'un barrage	en cours d'étude	1000
Bewässerungsanlage Turtmann	Turtmann/Unterens	81	60	bisse	projet de détail et enquête publique	210
Gesamtirrigation Bewässerung	Raron-Visp-Baltschieder	154	154	bisse/ eaux souterraines	réalisé, décompté	470
Bewässerung Talgrund	Niedergesteln	70	70	bisse	réalisé, décompté	180
Wasserleitung Bewässerungsanlage "Talgrund"	Gampel-Bratsch			eaux superficielles	réalisé, décompté	?
Bewässerung "Höhlerfeld" (Rumpe)	Seg-Höhren	9	9	eaux superficielles	réalisé, décompté	540
Grand-Bodrat	Ardon	32	32	eaux souterraines	avant-projet	1'280
Les Champys/ La Perrette	Charrat	56	56	eaux souterraines	en cours de réalisation	96 - 105
Les Barères	Riddes	7.8	7.8	eaux souterraines	en attente décision MO	364
Vignoble du Botza	Vétroz	72	72	eaux souterraines	réalisé, décompté	2'880
Sanvez	Fully	17	17	eaux souterraines	étude de faisabilité	670
Sanvez	Saillon	6.4	6.4	eaux souterraines	étude de faisabilité	
Châtroz	Son	40	40	eaux superficielles	Projet abandonné, pas d'eau	1'800
Ferme des Illes	Martigny	242	242	eaux souterraines	étude préliminaire faite, avant-projet	-
Cône de la Bargne	Son	180	180	eaux superficielles	Avant-projet terminé, attente décision MO	7'200
Plaine d'Ardon et de Chamson	Ardon/ Chamson	112	112	eaux souterraines	en cours d'étude	4'320
St-Léonard	St-Léonard	40	40	eaux souterraines	étude préliminaire	1'600
Brésil	Riddes	6.6	6.6	eaux souterraines	réalisé partiellement	310
Les Grands Ilôts	Saillon	43	43	eaux souterraines	à contrôler	-
Grands Gariers/ Grand Botza	Charrat/ Saillon	24	24	eaux souterraines	réalisé, décompté	-
Cône de la Stenitse	Saillon	18	18	eaux souterraines	réalisé, en cours de décompte	1'200
Le Courvieux	Martigny	6.4	6.4	eaux souterraines	réalisé, décompté	256
Grand Betlay	Fully	33	33	eaux superficielles	réalisé, décompté	1'400
Serre	Serre	7.9	7.9	eaux souterraines	réalisé, décompté	300
Pro Rumil/ L'Île	Fully/ Charrat	16.5	16.5	eaux souterraines	réalisé, décompté	96 - 200
Les Grandes Maraîches	Martigny	16	16	eaux souterraines	réalisé, décompté	440 (+200)
Superf. totale [ha]			1389.2			

¹⁷ en l'absence de données précises (relatives aux paiements directs).

¹⁸ Où les cultures arboricoles – sauf à Agarn – moins courantes, induisant donc une pression sur la nappe moins importante puisque les pratiques d'irrigation s'appuyant sur les réseaux de bisses (com. pers. de M. M. B. (SCA-OAS) du 29.03.23).

¹⁹ Essentiellement concentrés en plaine du Rhône, les prairies dominant en altitude où les précipitations sont plus importantes et les taux d'évaporation plus faibles et pour la période 1981-2010.

5.3.2 Lutte contre le gel

Les dernières expériences en la matière et recommandations des autorités compétentes s'orientent vers une pluviométrie de **40 m³/h/ha**, soit un débit 11.1 l/s/ha, une pression minimale à la buse de **4-5 bars** et des buses d'un diamètre **4 mm** et d) des durées d'utilisation variant de 5 à 12 heures²⁰. Sur les 2'600 ha impactés par le gel exceptionnel d'avril 2017. En tenant compte des équipements actuels, 1'600 ha avaient été identifiés comme nécessitant la construction ou l'assainissement de systèmes de lutte par aspersion. A fin 2022, plus d'une quinzaine de demandes collectives – pour la construction, la rénovation de réseaux ou le remplacement de systèmes de pompage – ont été déposées auprès de l'OAS (état en décembre 2019), pour une surface d'environ 920 ha répartis sur une dizaine de communes du Valais romand, auxquels s'ajoutent plusieurs centaines d'hectares de zones agricoles haut-valaisannes ayant fait l'objet de projets d'irrigation²¹ (Tableau 3).

Malgré la forte variabilité locale des propriétés physiques et hydrauliques de la nappe, l'impact de la lutte contre le gel sur la ressource souterraine était considéré comme acceptable (géau, 2019) puisque :

- si, à l'**échelle journalière** et en considérant dix heures d'aspersion sur 1'350 hectares²², le prélèvement s'élève à environ 540'000 m³ – soit un volume 20 fois plus élevé que les prélèvements journaliers moyens opérés dans la nappe pour l'eau potable et l'industrie (25'000 m³), à l'**échelle annuelle**, l'opération prélève entre 2.7 et 5.4 mios de mètres cube, soit 25 à 50% des prélèvements annuels opérés par l'industrie et l'eau potable (9.12 mios de m³) ;
- à l'échelle d'un **traverse** perpendiculaire de la plaine du Rhône le long duquel les 1'350 hectares seraient concentrés dans une bande de 200 mètres, le volume à disposition (environ 10 mios de m³) suffirait à lutter contre le gel durant dix jours (5.4 mios de m³) et les apports continus du Rhône – que l'on peut estimer à 10'000 m³/h – compenseraient les volumes prélevés en l'espace de douze jours après la fin de la lutte ;
- à l'**échelle de la nappe phréatique** du Rhône entre Sierre et Martigny, le prélèvement ne représente que 0.2 à 0.3 % d'un stock d'eau disponible s'élevant à 2.12 milliards de mètres cubes²³.

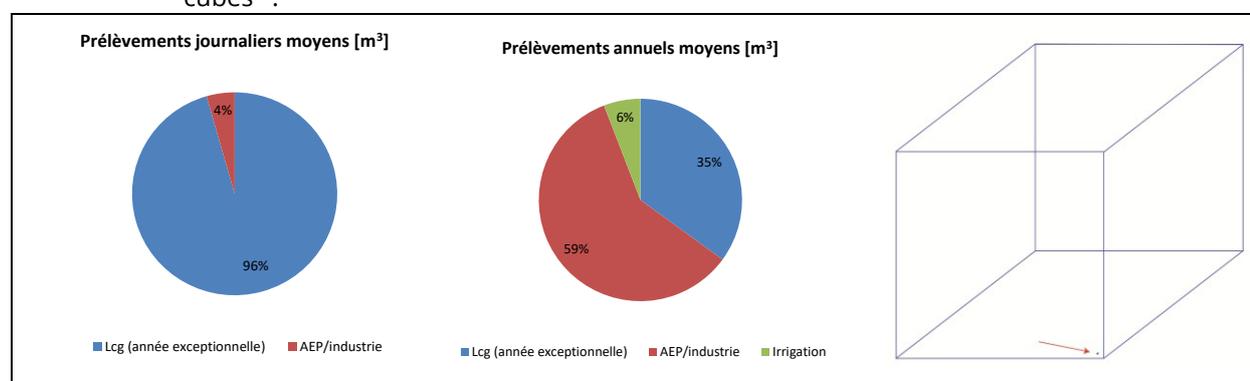


Figure 4 Illustrations graphiques des prélèvements journaliers moyens et annuels, proportion du prélèvement pour la lutte contre le gel (Lcg) par rapport au volume de la nappe. Source : géau (2019)

Ces estimations ne tenaient par ailleurs pas compte de l'importante ré-infiltration et percolation des eaux et des besoins phytologiques des cultures ni d'une meilleure gestion de la ressource hydrique :

- si une faible quantité s'évapore lors du processus de transformation calorifique²⁴, l'évaporation de l'eau expulsée par les buses n'est de l'ordre que de quelques pourcents durant la période de gel alors que la demande évaporative est considérée comme nulle durant la nuit ; les sols silteux à sableux de la plaine du Rhône présentent par ailleurs des capacités d'infiltration de 4 à 50 mm/h permettant théoriquement d'absorber une colonne d'eau d'environ 4 mm/h au

²⁰ Le dispositif d'espacement entre les arroseurs et leur vitesse de rotation est également : en vigne, les distances entre les arroseurs de type sprinkler permettant une aspersion sur frondaison sont généralement comprises entre 15 et 24 m.

²¹ Dont les périmètres n'ont pu être cartographiés, les projets étant déjà archivés (com. pers. de M. M. B. du 13.06.23).

²² Superficie obtenue en « supprimant » les 250 ha alimentés exclusivement par des prélèvements dans des eaux superficielles.

²³ En considérant une long. de 53 km, une largeur (de la plaine) de 4 km, une porosité de 0.25 resp. 0.2 et une prof. de 40 m.

²⁴ La congélation d'un gramme d'eau produit 80 calories (dont une partie est utilisée par la plante).

minimum;

- la consommation d'eau, qui varie en fonction du type de plantes, est déterminée à partir du coefficient cultural (kc^{25}), lui-même variant en fonction des étapes de croissance de la végétation ; pendant la période de lutte contre le gel (15.04-15.05), l'évapotranspiration est moins importante que durant l'été et le kc est à sa valeur minimale, inférieure au besoin d'irrigation en période estivale ;
- les projets par aspersion contribuent à une meilleure gestion de la ressource hydrique via un abandon progressif des puits individuels (Figure 5) au profit de projet communs ;
- enfin, dans certains secteurs ne présentant pas d'aquifère exploitable à des coûts raisonnables, l'utilisation d'effluents de STEP - soumises à la nouvelle législation concernant le traitement des micropolluants – présentant une bonne qualité physico-chimique pourrait être envisagée.

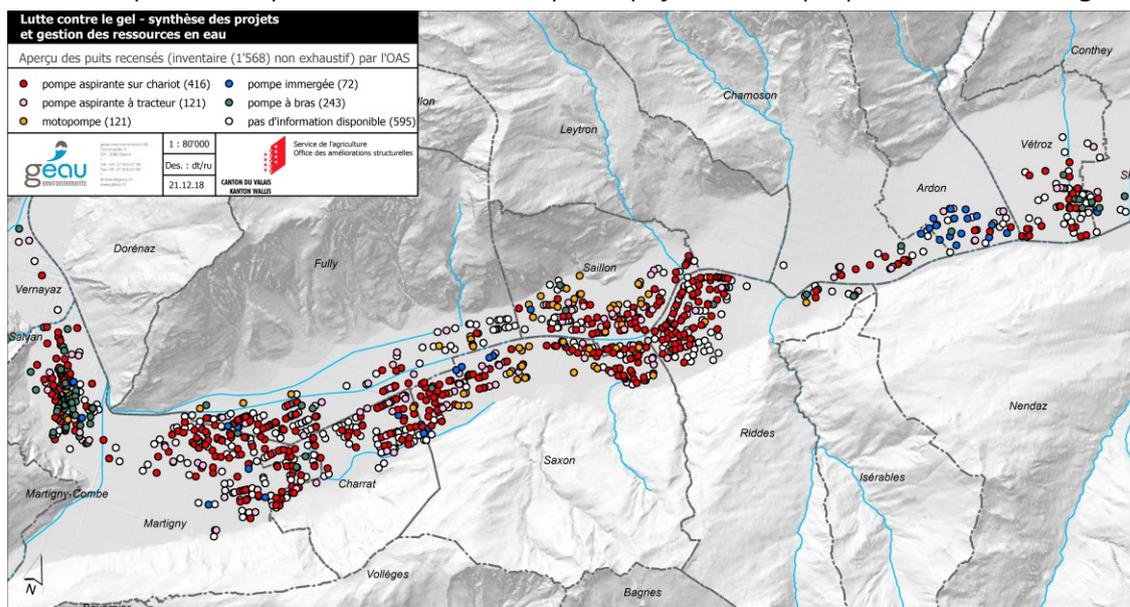


Figure 5 Aperçu du relevé des puits agricoles entrepris par l'OAS. Etat en décembre 2018. Source: géau (2019).

5.3.3 Répartition saisonnière des volumes

La répartition saisonnière des volumes d'eau destinés à l'irrigation ou à lutte contre le gel est présentée ci-dessous (Figure 6 à Figure 8). Pour la lutte contre le gel, on a considéré 10 jours de lutte consécutifs à raison de 12 heures par jour²⁶.

Mois	Irrigation (m ³)		Lutte contre le gel (m ³)	
	sans projet	avec projets	sans projet	avec projets
Mars	0	0	7'695'272	6'257'324
Avril	3'603'665	3'035'732	7'695'272	6'257'324
Mai	4'975'933	3'909'480	7'695'272	6'257'324
Juin	10'645'898	9'141'905	0	0
Juillet	9'254'989	7'969'445	0	0
Août	5'437'531	4'606'276	0	0
Septembre	3'469'030	2'851'547	0	0
	37'387'045	31'514'385	23'085'815	18'771'973

Figure 6 Estimation des volumes d'eau nécessaires pour l'irrigation (et la lutte contre le gel) de la plaine du Rhône.

²⁵ rapport entre l'évapotranspiration de la culture et l'évapotranspiration potentielle.

²⁶ Scénario communément utilisé dans les projets d'améliorations structurales pour les réseaux d'irrigation de plaine.

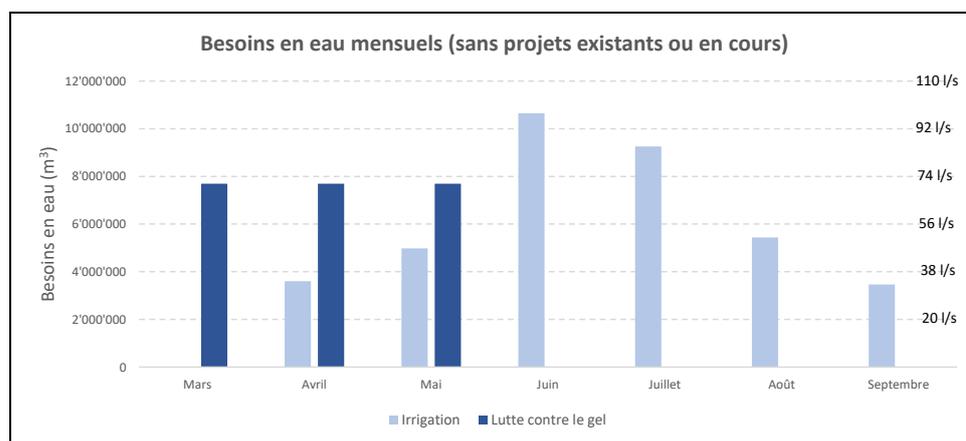


Figure 7
Besoins en eau mensuels théoriques totaux (sans tenir compte des projets existants ou en cours).

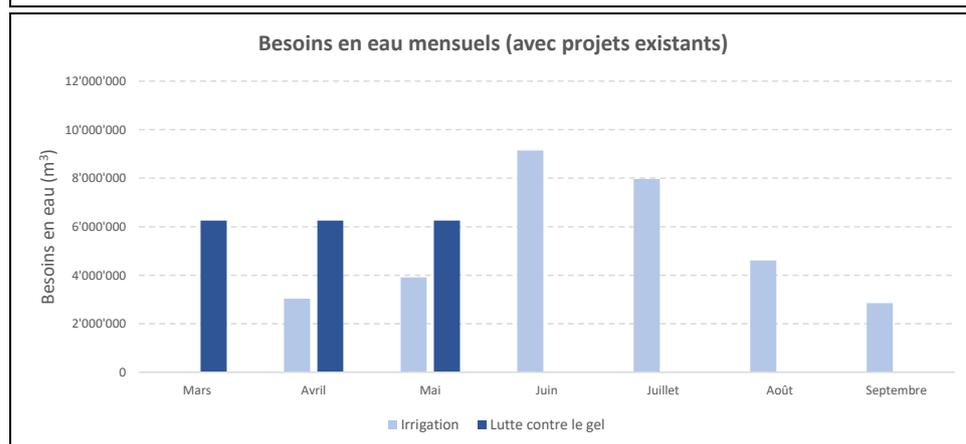


Figure 8
Besoins en eau mensuels (en tenant compte des projets existants).

5.3.4 Apports localisés pour les canaux de plaine (recharge de nappe)

5.3.4.1 Principes

La recharge artificielle des nappes²⁷ consiste à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant son infiltration jusqu'à l'aquifère. Cette approche est souvent employée afin de rétablir ou stabiliser des niveaux de nappes phréatiques surexploitées afin de garantir un approvisionnement en eau potable ou d'irrigation, les exemples à but écologique étant limités et généralement existants que sous forme de projet en cours (DEMEAU, 2014)²⁸. Le facteur principal à considérer est la **perméabilité de l'aquifère** qui déterminera la possibilité d'infiltrer les eaux à un débit suffisant et la surface infiltrante nécessaire. Il ressort des exemples fournis par Casanova et al. (2013) que la plupart des aquifères sont constitués d'alluvions et de sables. Une perméabilité minimale de 2.78 à $4.71 \cdot 10^{-6}$ m/s et maximale de $1.39 \cdot 10^{-4}$ m/s garantit généralement à la fois une infiltration efficace et des capacités géo-épuratrices du sol²⁹.

Outre une perméabilité suffisante, l'aquifère cible doit être caractérisé par une faible diffusivité et par un coefficient d'emmagasinement élevé afin d'assurer une capacité de stockage optimale. Un autre facteur clé est l'**épaisseur de la zone non-saturée de l'aquifère**, qui doit être suffisamment épaisse pour présenter une bonne capacité de stockage et éviter une éventuelle saturation, tout en garantissant des capacités épuratrices (Figure 10).

²⁷ Appelée généralement MAR (« Managed Aquifer Recharge »).

²⁸ Le principe de MAR en faveur écosystèmes aquatiques (en soutenant les débits d'étiage et/ou en diminuant les températures) repose sur une période avec des débits importants qui, injectés dans la nappe, pourront bénéficier durant la période d'étiage par exfiltration au cours d'eau. Aux Etats-Unis, plusieurs projets sont étudiés dont la Teton River, la Santa Clara River, la Snake River et le bassin de la rivière Walla Walla. Ces projets ont comme point commun l'utilisation des débits importants hivernaux et printaniers afin de recharger la nappe. L'échelle temporelle du processus peut être importante : Kirk et al. (2020) avancent une période de 25 à 30 ans avant qu'une situation d'équilibre ne soit trouvée, que Kourakos et al. (2019) évaluent à vingt ans. Kirk et al. (2020) constatent également la grande importance de l'emplacement des infrastructures d'infiltration : plus ces dernières se trouvent proches du cours d'eau, plus elles sont susceptibles de contribuer à son débit d'étiage. Pour garantir un débit minimal de 1.42 m³/s dans la Walla Walla, Scherberg et al. (2014) ont évalué à 22 millions de m³ la recharge annuelle nécessaire.

²⁹ Des perméabilités de $3.9 \cdot 10^{-4}$ et 10^{-2} m/s sont néanmoins indiquées pour deux installations fonctionnelles.

Type de sol	Capacité d'infiltration [mm/ h]				
	Ferguson (1994)	Gray (1972)	Stutter et al. 2007	FAO (1994)	Brait (2018)
sable	105	7.5à25	25à50	50(25à250)	>30
sable limoneux	30.5				
limon sablonneux	13	2.5à12	15à25	25(15à75)	20à30
limon	6.5				12.5(8à20)
limon silteux	3.4	1.2à5	3à4		
limon argilo sablonneux	2.2				
limon argileux	1.2			8(2.5à5)	5à10
limon argilo silteux	0.75	0.5			
argile sablonneuse	0.6				
argile silteuse	0.45				
argile	0.3			5(1à15)	1à5

Figure 9 Taux d'infiltration compilés pour différents types de sols. Dans les secteurs où les sols présentent des capacités d'infiltration inférieures à 4 mm/h, des fossés d'infiltration pourraient être envisagés.

Dans la plupart des cas, les eaux passent par des bassins de décantation voire des installations de filtration avant d'atteindre le site d'infiltration afin d'éliminer les particules en suspension susceptibles de colmater les surfaces infiltrantes (Figure 10). Selon les installations, une alternance entre les divers bassins d'infiltration est réalisée afin de permettre leur mise à sec périodique, comme le montrent certains des exemples ci-après (5.3.4.2).

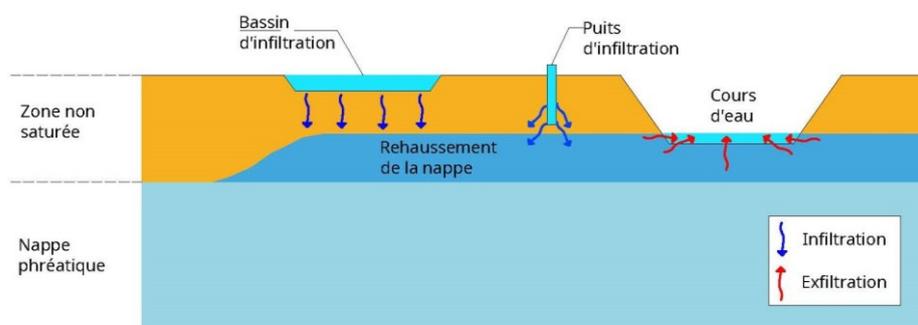


Figure 10 Recharge de nappe – schéma de principe.

5.3.4.2 Exemples d'installations

L'exemple suisse le plus connu est celui de Bâle, où deux installations gérées par IWB et Hardwasser AG rechargent la nappe phréatique afin de compléter les ressources en eau potable. Sur le site d'IWB (Figure 11), l'eau injectée est prélevée par pompage dans le Rhin puis préfiltrée dans une vingtaine de bassins où l'eau percole à travers une couche de 85 cm de sable de quartz. Un volume journalier jusqu'à 100'000 m³ transite ensuite dans un réservoir avant de parvenir au site d'infiltration, qui se compose de 11 bassins répartis sur une surface totale de 22 ha et dont la surface infiltrante est composée d'une couche de 20-30 cm d'humus, sous laquelle se trouve une couche de graviers, sables et argiles épaisse d'une dizaine de mètres. Le passage à travers ces couches assure une épuration physico-chimique et biologique de l'eau. Le site est exploité en alternant les bassins d'infiltration : après 10 jours en eau, le bassin concerné est mis à sec durant 20 jours afin de préserver les capacités épuratrices du sol et sa perméabilité. Le site du Hardwald fonctionne de manière similaire.

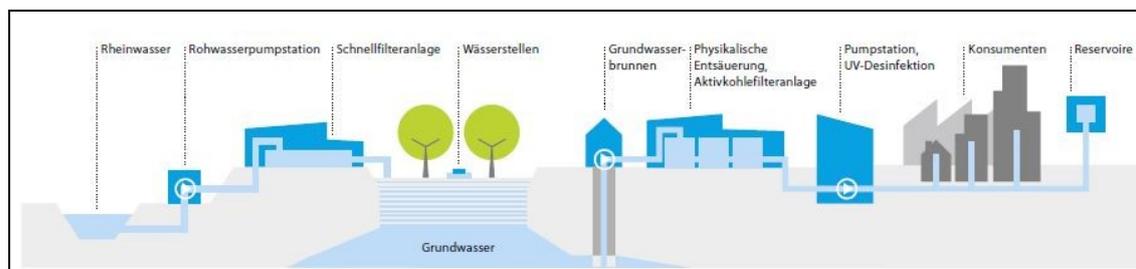


Figure 11 Schéma de l'installation de l'industrie 18.

L'aquifère genevois est exploité par le canton de Genève et la Haute-Savoie pour la production

annuelle d'un volume de 8 à 10 millions de m³ d'eau potable depuis 1980³⁰. Le système de recharge prélève des eaux de l'Arve afin de recharger l'aquifère du même nom, qui se caractérise par une épaisseur allant jusqu'à 50m dont le toit est situé à une profondeur de 15 à 80 m. Le gravier sablo-limoneux dont il est constitué fournit une perméabilité d'environ $1 \text{ à } 2 * 10^3 \text{ m/s}$. L'eau dérivée est d'abord traitée par sédimentation et filtration avant de s'écouler vers les surfaces d'infiltration³¹. Au total 5'000 mètres de tuyaux perforés enfouis à une profondeur de deux mètres (dans la zone non-saturée) parcourent une surface de 3 ha.

Dans le canton de **Thurgovie**, une grande partie de l'eau potable consommée par les communes de Sulgen, Erlen et Leimbach est prélevée dans la nappe de la Thur, constituée d'une couche de gravier d'une épaisseur de 10 à 20 mètres et surmontée par une couche d'argile peu perméable. L'eau est pompée du canal de la Thur et acheminée dans un bassin d'infiltration où l'eau est infiltrée en quelques heures mais atteindra la nappe 20 jours plus tard.

Sur la commune de **Contigny** (F), un site expérimental de recharge de nappe a été mis en place afin maintenir le niveau piézométrique de la nape exploitée pour l'eau potable et d'améliorer la qualité des eaux souterraines (riches en nitrates, parfois pollutions) par dilution. Les eaux prélevées dans l'Allier (parfois riches en MES et fer) sont décantées dans un premier bassin puis amenées vers un bassin d'infiltration de 40 m². Des tests d'infiltration – jusqu'à 2'600 m³/j – ont révélé que le bassin nécessitait un nettoyage régulier, la surface infiltrante se colmatant rapidement (teneur élevée en MES et présence d'algues). Le projet a ensuite été suspendu en raison de vitesses d'infiltration trop rapides limitant l'épuration des eaux et d'une diminution trop rapide de la zone non-saturée, de faible épaisseur (0.7m) avant le début des essais.

Enfin, le site de recharge de **Flins-sur-Seine** (F) poursuit deux objectifs : maintenir le niveau piézométrique de la nappe, exploitée pour l'eau potable et améliorer la qualité des eaux pompées. La nappe est constituée d'alluvions de la Seine (sables et graviers) d'une épaisseur de 5 à 15 m puis d'une couche de craie fracturée en dessous. Le site fonctionne en plusieurs étapes. L'eau est d'abord pompée dans des forages situés à proximité de la Seine puis est déversée dans sept bassins d'infiltration, dans lesquels elle s'infiltré à une vitesse de 0.4 à 1 m/jour. Comme à Bâle, les bassins ne sont jamais tous utilisés de manière simultanée et sont périodiquement mis à sec afin de limiter le colmatage. Ce système produit 8 millions de m³ d'eau potable chaque année.

5.3.4.3 Perspectives d'application

Même si les impacts de la lutte sont acceptables à différentes échelles temporelles (5.3.2), des rabattements significatifs sont observés régionalement (Figure 12) au début du printemps. Ces phénomènes ont été mis en évidence par les cartes piézométriques du CREALP pour les périodes avant et pendant mise en service des pompes qui ont révélé des rabattements dans les régions de Charrat-Martigny (pouvant atteindre 1,5 m), Saxon et Uvrier (Figure 12).

³⁰ La surexploitation de l'aquifère durant les années 60 et 70 a entraîné une baisse du niveau piézométrique, causant la fermeture des puits asséchés.

³¹ Lorsque la turbidité de l'Arve dépasse les 120 NTU, le système est mis à l'arrêt.

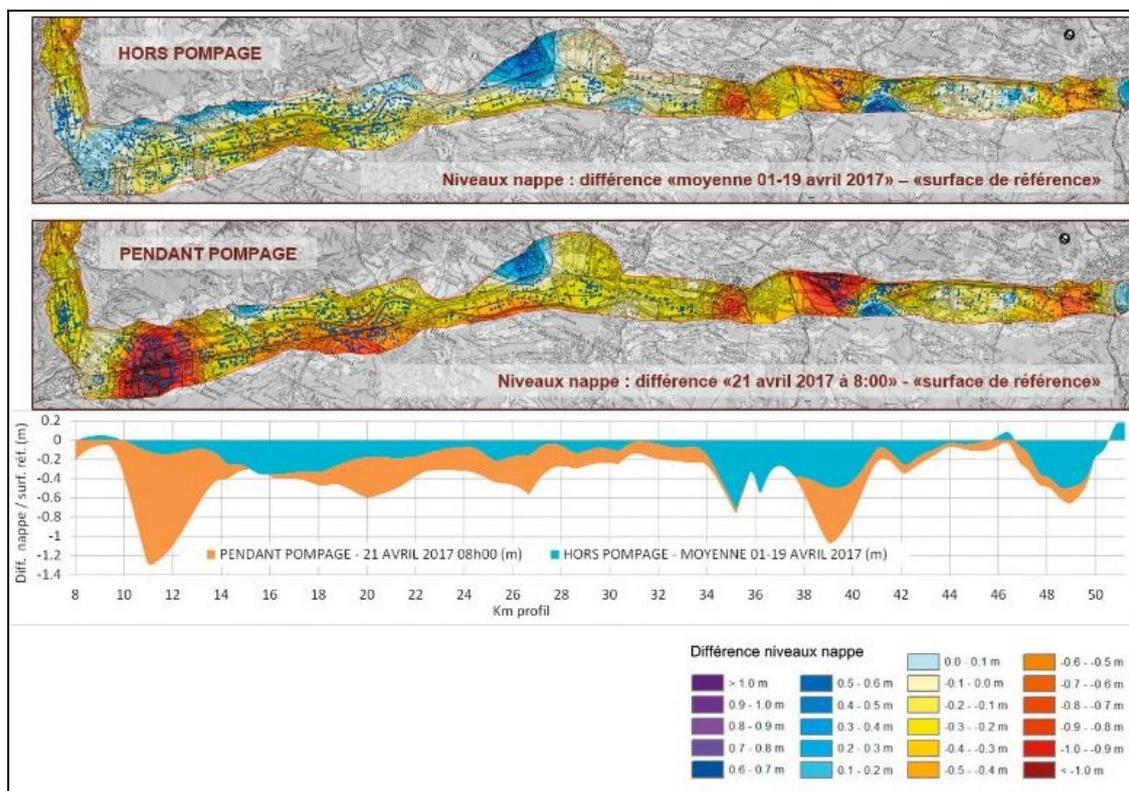


Figure 12 R Différence en mètres entre les niveaux d'avril 2017 et la surface de référence du mois d'avril pour la période 1976-2017 et effet des pompages sur les niveaux de la nappe consécutif à leur mise en service pour l'irrigation par aspersion lors d'un épisode de gel. (Sonney et al. 2021).

Dans l'éventualité d'une décantation de MES et tenant compte de la zone de l'épaisseur de la zone non saturée, des injections d'eaux turbinées pourraient être envisagées, la nappe phréatique se caractérisant notamment par (Schürch, 2000 ; Steiner, 2004 ; Schindler, 2006; Rovina + Partner AG, 2008 ; Matti et Tacher, 2009; Rey, 2012 ; Glenz et al. 2015 ; géau, 2019) :

- un écoulement sans interruption de Brigue au Léman – malgré trois « étranglements » au droit des cônes de déjection de l'Illgraben (Finges) et du St-Barthélémy (Bois Noir) ainsi que du verrou de St-Maurice – s'étendant sur une profondeur de plusieurs dizaines de mètres et avec un gradient hydraulique moyen de 1.5‰ ;
- un régime d'écoulement de type glacio-nival semblable au Rhône, avec des hautes eaux estivales et des basses eaux hivernales et des battements moyens d'un mètre diminuant avec la distance du Rhône³² ;
- des conductivités hydrauliques variant selon les lithofaciès, entre 10^{-3} et 10^{-5} m/s, avec une perméabilité d'interstices élevée pouvant contenir 150 l/m^3 à saturation ;
- une recharge s'effectuant surtout par les infiltrations « permanentes³³ » du Rhône (de l'ordre de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ à Sion par exemple), puis par l'apport des versants et enfin l'infiltration directe des précipitations, qui joue(nt) un rôle secondaire par rapport à la contribution du fleuve mais représentent tout de même le tiers du flux hydrique entrant dans l'aquifère.

Dans un périmètre englobant les surfaces agricoles de Charrat, Fully et Martigny (extensible à Saillon) – où un important rabattement a été mis en évidence – s'ajoute le maintien de débits résiduels convenables dans la Sarvaz et/ou le canal Leytron-Saillon-Fully, où sont opérés de nombreux prélèvements agricoles. Si dans le projet fulliérain du Grand-Blettay (géau, 2017 a et b)

³² S'ils demeurent souvent inférieurs à un mètre, ils peuvent localement atteindre deux mètres et sont en général plus élevés à proximité du Rhône et synchrones avec le comportement du fleuve ; à proximité des versants, des battements élevés sont localement mesurés, probablement sous l'effet de zones d'alimentation souterraine. Enfin, à proximité des canaux drainant la nappe, les battements sont plus faibles.

³³ L'étude des échanges entre le Rhône et son aquifère – de quatre types (infiltration percolative, permanente, libre et exfiltration) – indique que sur la majeure partie du linéaire, le niveau des eaux souterraines se situe en dessous de la ligne du fleuve mais au-dessus du lit du fleuve (infiltration permanente) en raison des pompages rabattant la surface piézométrique.

qui repose sur une dérivation de 300 l/s du canal LSF – afin d’alimenter les pompes immergées dans le bassin de stockage du canal Faiss –, on a pu démontrer que les débits résiduels seraient garantis³⁴ et que la qualité physico-chimique des eaux répondrait aux besoins agricoles, la réalisation potentielle d’autres projets augmentera la pression sur les ressources hydriques des résurgences de la Sarvaz ou de la nappe (Figure 13).

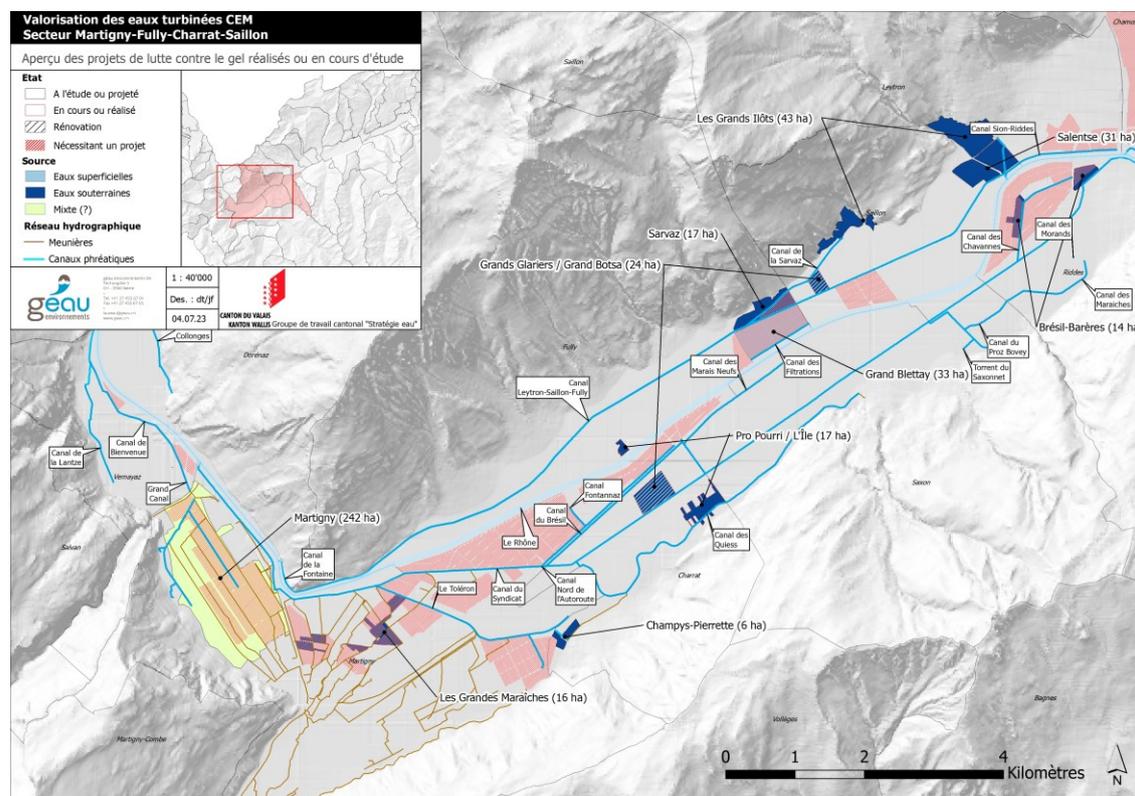


Figure 13 Aperçu des projets d’irrigation / lutte contre le gel et réseau hydrographique dans la région de Martigny-Charrat-Fully-Saillon. Source : géau, 2019 (adapté).

Dans l’hypothèse de construire la deuxième (30 m³/s) ou la troisième (390 m³/s) variante et sous réserve d’adapter localement le tracé ou d’aménager des conduites secondaires, une étude hydrogéologique permettrait de déterminer le potentiel de l’aquifère³⁵ puis d’identifier plus précisément les éventuelles possibilités d’injection les plus appropriées en termes de coûts/bénéfices et d’impacts sur l’environnement. Une alimentation des réseaux de certains réseaux de meunière existants (Figure 14) – à l’image de celui de Bramois à pourrait également être envisagée mais s’accompagnerait de traitements (4.3.3).

³⁴ Dans d’autres projets séduisois (géau, 2018a, b et e), les prélèvements envisagés sur la Morge par le biais d’une nouvelle prise du bisse respecteraient un débit résiduel de 138.8 l/s, les débits transitant dans la rivière durant la période de lutte contre le gel s’élevant entre 750 et 2’500 l/s (GAP-VS, 2007). Une augmentation des débits restitués dans la Meunière de Bramois n’entrerait pas en conflit avec le débit résiduel maintenu dans la Borgne sera théoriquement de 900 l/s (Tableau 5).

³⁵ Via la définition de divers paramètres hydrauliques (teneur en eau et saturation, porosité totale et porosité efficace, perméabilité et vitesses d’écoulement horizontal et/ou vertical).

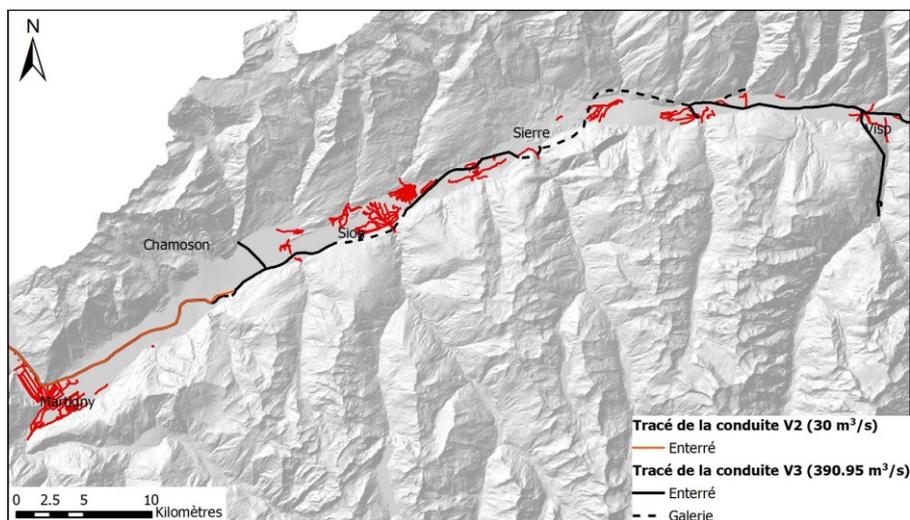


Figure 14 Aperçu des principaux réseaux de meunieres de la plaine du Rhône. Source : géau (en cours).

5.4 Milieux aquatiques et humides, pisciculture

5.4.1 Milieux aquatiques

D'un point de vue environnemental, les réflexions suivantes ont été (ap)portées autour :

- d'une éventuelle alimentation de biotopes humides de plaine pour sauvegarder ou restaurer leur dynamique, ce que pourrait envisager d'entreprendre le **SFNP**³⁶ - à l'instar d'une forêt d'aulnes noirs³⁷ sur la commune de Vernayaz dans le cadre des mesures de compensation de Nant de Drance – sur la base d'un choix de sites restant à définir ;
- des mesures R&R de l'A9, dont le 80% concernent des biotopes humides en plaine du Rhône (Figure 15) ; à ce titre, le **SCRN** privilégierait un tracé à travers la digue du Rhône, même si l'impact d'une traversée (et de l'enfouissement) de la conduite pourrait être positif, à condition de ne pas rendre drainant le caractère des fouilles³⁸ ; les projets aquatiques étant complémentaires avec ceux du projet Rhône et des eaux claires (souvent phréatiques) étant utilisées dans ses projets, le SCRN n'identifie pas de réel besoin en termes d'injection brute de débit, même à Finges, où un éventuel tarissement des écoulements de subsurface et/ou souterrains du Gorwetsch ne nécessiterait pas non plus un appoint de la conduite en raison des propriétés physico-chimiques singulières des écoulements (géau, 2016) ; des injections localisées dans la nappe (5.3.4.3) pourraient susciter un intérêt à Turtig-Raron, dans les anciens bras du Rhône à Leukerfeld et, éventuellement, à Pouta Fontana pour contrebalancer un possible abaissement des niveaux phréatiques consécutif à la réalisation de la mesure anticipée St-Léonard (MR1009), enfin, des injections dans les biotopes sis à l'intérieur des bretelles d'autoroutes pourraient également être envisagées ;

³⁶ Com. pers. de M. J.-C. Clivaz (SFNP) du 27.01.23.

³⁷ Impactée par un manque d'eau consécutivement à la mise en service d'une centrale de micro-turbinage. L'eau est prélevée au niveau de la centrale de turbinage puis distribuée via trois ou quatre sorties ponctuelles réparties dans l'aulnaie. Les principes gestion sont a priori gérés par NDD SA et/ou la commune (om. pers. de Y. Triponez (SFNP) du 01.02.23).

³⁸ Com. pers. de M. Fontannaz du 23.02.23.

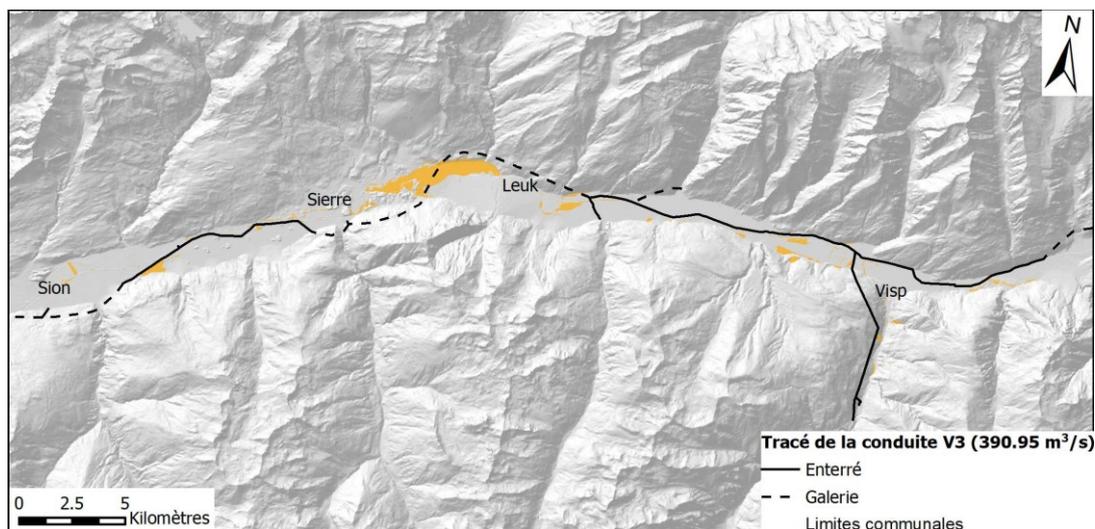


Figure 15 Emprises des mesures R&R de l'A9. Source : SCRN.

- d'un soutien hydrologique (et thermique) sur des tronçons soumis à des assècs printaniers ou estivaux que connaissent certains cours d'eau piscicoles ; les problèmes récurrents sur la Raspille ou la Salentse et, en 2022, sur la Lienne (à l'aval de St-Léonard) ou la Rèche notamment, découlent essentiellement de problèmes de gestion de l'eau des bisses (à vocation touristique ou agricole), dont un assainissement est entrepris progressivement³⁹, à l'image de la Raspille et des autres affluents du coteau de la rive droite du Valais central, dans le cadre du projet régional de gestion des eaux Lienne-Raspille (Cordonier et Rey, 2020) et celui de la rénovation du réseau d'assainissement du périmètre d'irrigation de la région de Venthône (RWB et géau, 2020) ; la turbidité des eaux aurait toutefois un impact non souhaitable sur la plupart des cours d'eau (4.3.4).

5.4.2 Pisciculture

Une douzaine de sites de production produisent, bon an mal, les quantités de poissons destinés au repeuplement des eaux valaisannes. En considérant, selon Pillay (1990), Arrignon (1998) et Hardy et al. 2000 : a) un débit de 0.5 l/minute pour 1'000 œufs ; b) autant de l/min que de mois d'âge jusqu'à l'âge de 12 mois, pour 1'000 alevins et truitelles et c) autant de l/min que de kilogrammes de truites élevées pour les truites de plus de 12 mois, un débit moyen de 16.6 l/s permet de produire – avec une certaine marge de sécurité⁴⁰ – une tonne de salmonidés destinés au repeuplement. La production des 17.2 t de poissons de taille adulte⁴¹ immergés annuellement dans les eaux valaisannes requiert théoriquement un débit total d'environ 285 l/s, que l'on peut arrondir à 310 l/s en tenant compte des 540'600 pré-estivaux, 301'000 estivaux et 49'400 estivaux tardifs immergés entre le printemps et la fin de l'été. Sans tenir compte des quatre exploitations professionnelles commerciales⁴² mais en considérant que les déficits hydriques que connaissaient auparavant certaines piscicultures FCVPA⁴³ de plaine – produisant au moins 80% du volume de poissons – sont résolus ou en passe de l'être⁴⁴ et que la température des eaux turbinées est un facteur limitant

³⁹ L'arrêt du Tribunal Fédéral du 29 mars 2019 (ATF 145 II 140) demande d'assainir à la première occasion les droits immémoriaux d'un bassin versant que des débits résiduels soient garantis.

⁴⁰ Selon les pratiques, il est possible de réduire ce débit à 14 l/s/t voire à 5 l/s/t si des systèmes d'aération pallient à d'éventuels déficits en oxygène dissous (Arrignon, 1998).

⁴¹ Selon le plan de repeuplement 2017-2021, le nouveau étant en cours d'élaboration.

⁴² Dont les données ne nous sont pas précisément connues mais dont on peut affirmer que les apports provenant du Lötschberg (VALPERCA SA, Raron), d'une source de montagne ou de la nappe (Swifish AquaFarm AG, Susten) ainsi que, pour la pisciculture de Vionnaz, d'une source de 50 à 70 l/s sur le site de Massongex et d'un autre affluent de 180 à 300 l/s à Vionnaz qui permettaient de produire 400 t de truites en 2021. La pisciculture Schnyder (Salgesch et Brig), dérive sur le deuxième site une partie des eaux du Russubrunnu et devrait être, à terme, démantelée dans le cadre du renouvellement de concession du barrage de Susten (FMV) et remplacé par une pisciculture dans l'Entremont, à Som la Proz (géau, 2017a).

⁴³ Pour Fédération Cantonale Valaisanne des Pêcheurs Amateurs.

⁴⁴ Notamment celles des sections de Monthey – installation de pompages dans la nappe –, de Monthey – récupération d'une partie des eaux turbinées de l'Avançon – et de Martigny – récupération des eaux turbinées de Salvan – a permis de pallier les déficits hydrologiques. La production de la section de Leuk – qui dérive actuellement une partie des eaux du canal de la Phûla – sera quant à elle déplacée à court ou moyen terme sur le site de production de la section de Siere, dans le cadre d'une mesure R&R de l'A9 (géau,

(4.3.4), la CEM ne répondrait donc à aucun réel besoin.

5.5 Besoins pour la lutte incendie

L'approche de cette thématique – saluée par le SFNP – révèle l'existence de trois hot-spots en plaine du Rhône à Finges, au Botza et au Bois-Noir constitués de pinèdes plus vulnérables que les forêts de feuillus. Si les forêts au débouché des vallées latérales sont également vulnérables, les éventuels besoins pour lutter contre les incendies sont difficilement quantifiables et ne nécessiteraient pas forcément l'usage de la CEM. Deux ans après l'incendie de Finges (1996), un concept cantonal a été élaboré pour fixer les priorités des planifications régionales. Mis à jour en 2009, celui-ci propose notamment de réaliser des concepts régionaux analysant notamment les éventuels déficits infrastructurels ou les points d'approvisionnement hélicoportés.

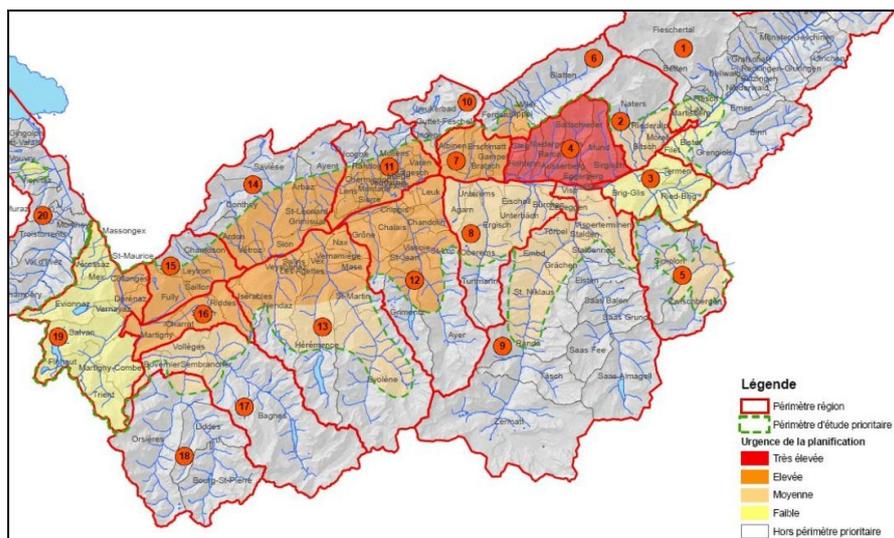


Figure 16 Concept de lutte contre les incendies de forêt (avant-projet).
Source : SFP (2009).

A ce jour, ces concepts ne couvriraient qu'une faible portion du territoire cantonal :

- sur le coteau de la rive droite sur les territoires communaux d'Ardon, Vétroz et Conthey.
- dans la Forêt de Finges, où un concept décliné en une dizaine de secteurs d'intervention (Figure 17) a été développé par Bina et Ryser (2014), lequel met surtout en évidence la nécessité de définir des emplacements pour de bassins mobiles en altitude, la pose de conduites vides (\varnothing 125mm dont les eaux seraient pompées par des véhicules de pompiers) le long de la route forestière de Forêt de Sierre, parallèle à l'Iligraben le long de la route forestière de Varnerwald ou l'aménagement de nouveaux points d'approvisionnement en plaine (p. ex le Pumpensee) pour limiter le temps de trajets des hélicoptères.

Au niveau du Bois Noir à St-Maurice, il pourrait cependant être utile d'évaluer l'utilité d'une telle conduite, même si aucun concept incendie n'a encore été élaboré pour ce secteur⁴⁵. Le SFNP relève enfin qu'un raccordement à la CEM permettrait d'alléger les réseaux existants et la nappe de la plaine.

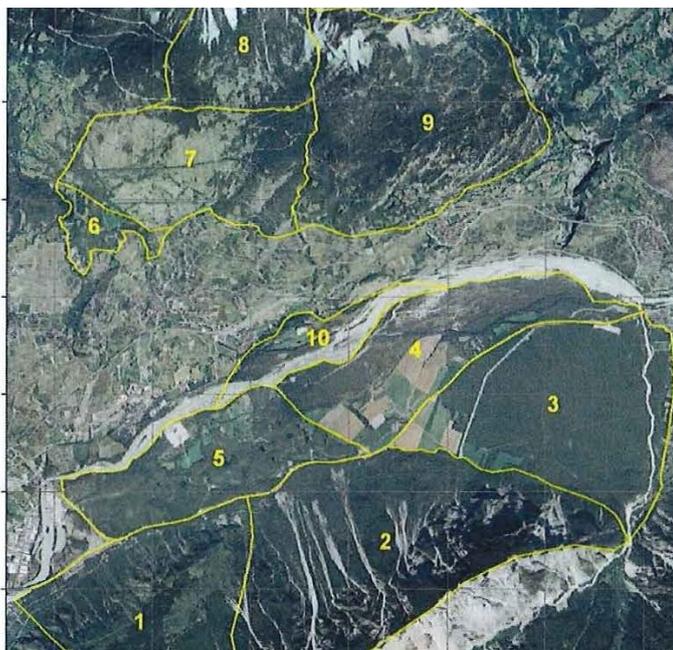


Figure 17 Aperçu du découpage des secteurs d'étude. Source : Bina et Ryser (2014).

⁴⁵ Com. pers. de M. Jean-Marie Putallaz (SFNP) du 27.02.23.

5.6 Production électrique

Pour les variantes étudiées, le potentiel de production avec de nouveaux aménagements le long de la conduite fonctionnelle a été estimé. Parallèlement, pour les tronçons déjà exploités, la perte de production des aménagements existants a été également chiffrée. En déduisant cette perte de production, un chiffrage du potentiel net est obtenu. Au vu de ce potentiel net, la rentabilité d'une éventuelle exploitation hydroélectrique des tronçons de la nouvelle conduite fonctionnelle est estimée.

Ce chapitre décrit la méthodologie utilisée pour chiffrer ce potentiel et évaluer la rentabilité. Les résultats par variante sont présentés directement dans le chapitre consacré à l'étude des variantes et sont également présents sur les plans relatifs à chaque variante.

5.6.1 Potentiel de production des nouveaux aménagements

Pour déterminer le potentiel de production, dans un premier temps pour chaque tronçon de la conduite qui peut être mis en charge, les pertes de charges sont calculées selon la formule de Colebrook-White (1) et (2) :

$$H_r = \lambda \cdot \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71 \cdot D} \right) \quad (2)$$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Avec:

H_r : perte de charge [m]

λ : coefficient de résistance de la conduite [-]

L : longueur de la conduite forcée [m]

g : accélération terrestre = 9.81 [m/s²]

D : Diamètre intérieur de la conduite forcée [m]

Re : Nombre de Reynolds [-]

ν : viscosité cinématique de l'eau = 1.31e⁻⁶ [m²/s] pour une température de l'eau de 10°C

k : rugosité hydraulique du système [m]

v : vitesse d'écoulement de l'eau dans la conduite [m/s]

Après la réalisation des calculs de perte de charge pour le débit maximum, il s'est avéré que pour de nombreux tronçons, un agrandissement du canal initialement prévu pour un écoulement libre était nécessaire, car les pertes de charges seraient sinon trop élevées. Les dimensions de la conduite sous pression ont été choisies de telle manière de limiter les pertes de charge et de garder un potentiel de production.

Avec ces pertes de charge, la puissance électrique maximale a été calculée pour chaque tronçon en admettant un rendement global de l'installation de 80%.

Enfin, les volumes turbinés annuels étant connus pour chaque tronçon, il est donc possible d'estimer la production annuelle de chaque palier.

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, des simplifications ont été effectuées qui ont conduit une sous-estimation ou une surestimation du potentiel de production électrique (Tableau 4). Pour les besoins de précision de cette étude de faisabilité, il est imaginable de partir du principe que ces approximations se compensent.

Tableau 4 Simplifications entreprise et effets sur le potentiel de production estimé.

Approximations	Effet sur le potentiel estimé de production
Pertes de charge estimées pour le cas de pleine charge	Sous-estimation du potentiel de production en raison de pertes de charges trop élevées pour les périodes où l'aménagement ne tourne pas à plein-régime
Rendement global de 80% assez faible	Sous-estimation du potentiel de production
Hypothèse d'une disponibilité de l'installation de 100%	Surestimation du potentiel de production
Hypothèse d'une utilisation totale de la chute brute entre les paliers, sans tenir compte d'éventuels hauteurs non disponibles entre la sortie de la turbine et la prochaine zone de mise en charge.	Surestimation du potentiel de production

5.6.2 Concurrence des aménagements existants

La conduite multifonctionnelle concurrence, selon les variantes, plusieurs aménagements existants en prélevant de l'eau en amont des centrales ou des prises d'eau. Pour estimer ces pertes par concurrence, les chiffres en kWh/m³ turbinés des centrales existantes ont été utilisés.

Afin d'estimer les pertes de production annuelles par concurrence, il est nécessaire d'estimer les volumes et donc les périodes durant l'année où des conflits d'utilisation sont présents, selon les différents aménagements.

5.6.2.1 Aménagements de Lavey et projet de Massongex

Pour les aménagements de Lavey et du projet de Massongex, la station de mesure des débits du Rhône à La Porte du Scex (Figure 18) fournit une très bonne base, car les débits du Rhône y sont très semblables à ceux à l'aval de la prise de Lavey et également au droit de Massongex. Durant environ 3 à 4 mois l'été, l'aménagement tourne à pleine charge, en hiver chaque litre dérivé par la nouvelle conduite concurrencera directement la production électrique des aménagements.

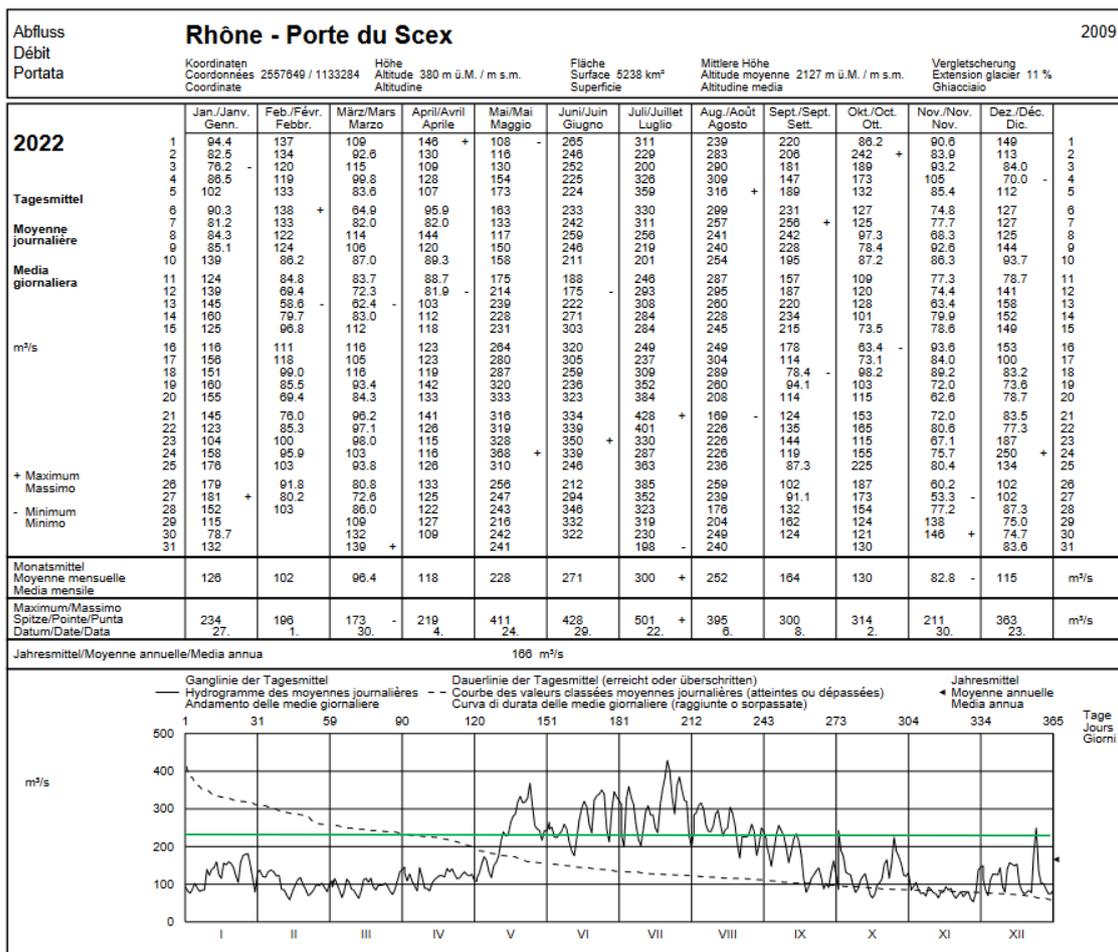


Figure 18 Débits de 2022 à la porte du Scex. La ligne verte illustre le débit d'équipement à Lavey et Massongex.

Les volumes turbinés par les aménagements sont connus pour les mois d'hiver et d'été. En fonction des débits du Rhône à la porte du Scex, il est admis pour cette étude de faisabilité que 100% des volumes turbinés en hiver et 50% des débits turbinés en été entraînent une perte de production aux aménagements de Lavey et Massongex.

Il convient de mentionner que dans le futur, les conflits avec l'aménagement de Lavey vont augmenter, car une augmentation du débit turbiné est projetée (Lavey + : 320 m³/s au lieu d'actuellement 220 m³/s)

5.6.2.2 Aménagement de Susten

Pour l'aménagement du Rhône entre Susten et Chippis, des informations trouvées sur le site de l'association des communes concédantes du Valais mentionnent que le débit maximal turbiné de 65 m³/s est atteint environ 150 jours par an. Ce chiffre de l'époque ne tient toutefois pas compte de l'augmentation des débits résiduels et est probablement légèrement trop haut. En fonction de cette indication, il est également estimé qu'en hiver, chaque m³ dérivé par la conduite fonctionnelle entraîne une perte de production directe. En été, ce taux est réduit à 25%.

5.6.3 Rentabilité de l'opportunité

Afin de juger si le potentiel de production électrique est rentable, les calculs suivants ont été effectués :

- détermination des recettes de production, avec une hypothèse de prix moyen constant à 6 ct/kWh (les recettes s'appliquent sur la production corrigée en fonction de la concurrence directe faite aux aménagements existants) ;
- détermination des frais liés aux redevances, sur la base de CHF 110.- / kW ; le nombre de kW se base sur la moyenne des débits turbinés ; cette moyenne a été corrigée des débits en concurrence avec les aménagements existants, sinon ce calcul simulerait une double redevance pour une eau turbinée sur un seul aménagement ;

- détermination grossière des coûts d'entretien de la centrale, avec l'aide d'une formule très simplificatrice (les coûts annuels se montent à CHF 1000 x puissance électrique maximale^{0.61});
- le montant résultant des recettes moins les frais des redevances et des coûts d'entretien est considéré comme le montant qui est disponible pour l'amortissement des investissements liés à une utilisation hydroélectrique de la nouvelle conduite multifonctionnelle ; ce montant, divisé par le taux d'annuité, permet d'obtenir un ordre de grandeur pour les investissements maximums envisageables afin d'avoir un aménagement rentable ; ce calcul a été fait pour une variante où aucune subvention n'est octroyée et également pour une variante où une aide de 60% des coûts d'investissements est accordée ; enfin, ces chiffres sont également comparés avec une règle triviale qui affirme que pour 1 Millions de kWh produits, il ne faudrait pas dépasser des coûts d'investissement d'environ 1 Millions de CHF.

En fonction de ces montants d'investissement à disposition, il est possible de se faire une idée si ces montants sont suffisants pour les travaux supplémentaires suivants, liés à une utilisation hydroélectrique du tronçon concerné :

- En partie agrandissement de la section mouillée afin de limiter les pertes de charge
- Surcoûts liés au matériel de la conduite. Un canal en béton ne peut reprendre que très peu de pression interne
- Surcoûts liés aux éléments électromécaniques et au transport de l'énergie produite.
- Surcoûts liés aux aspects du génie-civil (bâtiment ou caverne de la centrale), il faudrait également entre les aménagements pour assurer une stabilité / régulation suffisante des turbines en aval réaliser des bassins de tranquillisation du niveau d'eau.

Les annuités ont été calculées selon les indications contenues dans les documents de l'OFEN pour une demande d'investissement. Le taux WACC fixé par l'OFEN se monte à 4.98 %.

La durée moyenne d'utilisation est également estimée d'après les indications de l'OFEN pour chaque partie de l'ouvrage. Pour cette étude de faisabilité, une durée de vie moyenne et pondérée de 50 ans a été assumée pour les travaux supplémentaires cités plus haut.

Le taux d'annuité, avec un taux d'intérêt de 4.98% et une durée de vie moyenne de 50 ans, se monte à 5.46%.

5.7 Assainissement des éclusées

Les récents rapports relatifs à l'analyse des causes et des déficits ainsi qu'à la (pré-)définition d'objectifs respectivement sélection de mesures ont montré qu'une atteinte grave résultant des effets d'éclusées et/ou d'autres effets conjugués d'origine naturelle ou anthropique était présente sur la quasi-totalité des tronçons étudiés (Figure 19) à l'état actuel et aboutissaient aux principaux constats suivants (biol conseils et al. 2021 ; Alpiq et al. 2022) :

- aucun risque d'échouage (**P2***) actuel ou futur pour les poissons juvéniles n'a été avéré mais la situation théorique actuelle est globalement médiocre pour le stade larvaire;
- à l'exception du tronçon Rho6a⁴⁶, il apparaît que la situation hydraulique actuelle n'entraîne pas d'atteinte sur d'éventuelles frayères (**P3***) de truites fario dans le Rhône ;
- l'application de l'indicateur **P6 – Habitabilité pour les poissons** indique que l'amélioration de la morphologie après R3 permettra d'éliminer en grande partie les déficits d'habitat constatés aujourd'hui pour les poissons adultes ; pour les juvéniles, les déficits peuvent être limités aux périodes d'étiage sur l'ensemble du Rhône (à l'exception des déficits dus aux éclusées estivales pour le tronçon d'étude Rho1a), en raison de l'exploitation des centrales électriques, les débits d'éclusée sont nettement plus élevés en période d'étiage par rapport aux débits naturels, entraînant une répartition des habitats appropriés pour les jeunes poissons sur les bordures du cours d'eau, ce qui entraîne une diminution des surfaces d'habitat appropriées ;
- l'indicateur **Q1* - Température** montre que les éclusées dans la Vispa, la Lonza et la Lizerne entraînent une perturbation importante ; dans le Rhône, celle-ci se limite aux tronçons Rho1a et Rho2a, à l'aval de Bitsch ; les modélisations suggèrent que R3 entraînera une légère amélioration des taux de variation de la température ;
- les tronçons du Wysswasser⁴⁷ et du Lengtalwasser ne présentent pas de déficits graves ; ce dernier cours d'eau présente d'ailleurs une bonne qualité biologique⁴⁸ ;
- sur le Rhône, trois secteurs ont globalement été mis en évidence, respectivement 1) à l'amont de Finges, où le potentiel écologiques élevé découle notamment de bonnes conditions d'habitat et d'une turbidité hivernale un peu moins importante ; 2) de Finges à Bieudron, secteur où les éclusées et la turbidité augmentent progressivement par les centrales à Sierre, St-Léonard et sur la Borgne et où les rendements piscicoles moindres⁴⁹ et 3) de Bieudron à Lavey, où la dominance de substrats très grossiers indiquant un déficit de charriage ou une forte canalisation, une forte augmentation de la turbidité, des éclusées importantes et des possibilités d'améliorations faibles limitent le potentiel écologique à quelques zones à bancs et aux embouchures.

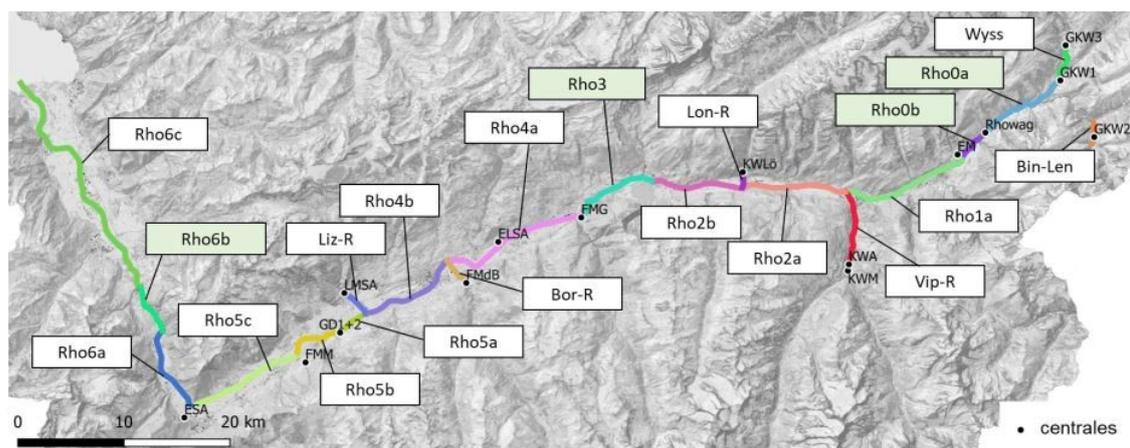


Figure 19 Tronçons soumis aux éclusées (es tronçons Rho0, Rho3 et Rho6b sont à débit résiduel et ne sont soumis aux éclusées que par transfert de l'exploitation par turbinage venant de l'amont) Source : Alpiq et al. 2022.

⁴⁶ Où les vitesses d'écoulement, par éclusées, sont parfois élevées, ce qui minimise le potentiel en zones de frai (érosion). Ainsi, les pics d'éclusées par rapport à la situation naturelle conduisent à une mauvaise note de l'indicateur.

⁴⁷ Avec un régime glaciaire froid et turbide et une artificialisation du linéaire aval, le potentiel écologique très limité.

⁴⁸ Confirmée par la présence d'une algue filamenteuse rouge (*Rhodophyta*) répertoriée sur la liste rouge d'Europe centrale.

⁴⁹ A l'aval de la confluence avec l'Illgraben, ce tronçon subit des apports parfois très importants de matières en suspension issues des purges, des extractions de gravier ou des crues rendant improbable, la réussite du frai des salmonidés dans le lit du Rhône.

Les études sur la **Salanfe** en aval de Miéville (biol et géau, 2023a et b) ont révélé que :

- les températures des eaux turbinées étant significativement plus froides ou chaudes (en fonction de la saison) que celles s'écoulant hors turbinage, une variante supérieure à 5°C/h sur le régime thermique de la Salanfe est constatée (état mauvais) ;
- même si les surfaces mises à sec sont relativement limitées (importante chenalisation du lit mineur induisant un état bon à moyen pour les pertes de surface), le taux de descente des niveaux d'eau est trop élevé pour les larves en raison de leur capacité natatoire limitée (état mauvais) mais il est acceptable pour le stade juvénile est acceptable (état bon) ;
- la modélisation des conditions de frai, par débit plancher hivernal (décembre-janvier et novembre-janvier) révèle une diminution significative des surfaces adaptées par rapport à l'état de référence naturel et induit un état mauvais pour les trois tronçons ; en régime d'éclusée, la perte de surfaces favorables au frai peut atteindre 97%, qui s'explique avant tout par une augmentation des hauteurs d'eau lors des phases de turbinage ;
- la truite fario adulte profite des débits d'éclusées d'un point de vue de ses conditions d'habitat – le gain de surface variant entre 79 et 288% (état excellent) – alors que le débit plancher présente un état mauvais en comparaison au Q₁₈₂ (perte de surface « bonne » jusqu'à 100%) ; la tendance s'inverse pour la classe juvénile.

Même si, conformément à la LEaux, seuls les déficits graves⁵⁰ et dont les causes sont directement liées aux effets d'éclusées, doivent être assainis, les rapports concluaient cependant qu'une amélioration écologique du Rhône uniquement à l'aide de l'assainissement des éclusées semble peu probable et

- un risque de non-atteinte des objectifs en termes de turbidité a été mis en évidence en raison des atteintes connexes à imputer aux gravières, aux travaux en cours (notamment liés à R3), aux crues hivernales et, pour les tronçons en aval de Finges, à la morphologie du fleuve ; la turbidité hivernale – qui constitue un facteur limitant pour les indicateurs principaux, en particulier les poissons – ne pourrait être ainsi améliorée que de l'ordre de 20 à 40% au maximum grâce à l'assainissement des éclusées.
- les élargissements planifiés par R3 devraient conduire à une amélioration du potentiel biologique et des conditions d'éclairement, en raison notamment d'une hauteur d'eau réduite ainsi que d'une légère diminution de la turbidité grâce à une décantation plus généralisée sur les marges, même si une très faible décantation escomptée dans les éventuels bassins, dont des purges seront nécessaires) ;
- la réponse du **cours d'eau est multifactorielle** – tant que les autres atteintes ne sont pas assainies, il n'est pas garanti d'obtenir une véritable amélioration biologique avec le seul assainissement des éclusées, d'autant que le régime fortement glaciaire du Rhône limitera toujours son potentiel biologique.

Les conclusions de l'Etape I ont mis en évidence différentes incertitudes (Alpiq et al. 2022 ; biol conseils, 2023) quant à l'interprétation et aux résultats des indicateurs :

- les déficits sont projetés sur un état futur (avec R3) non connu ;
- les résultats analysés⁵¹ ne reposent que sur une seule campagne de terrain ; s'ils semblent refléter une situation effective et représentative de la qualité du fleuve, des doutes subsistent quant à leur robustesse sur le moyen et long terme, comme p. ex. les résultats obtenus dans les secteurs récemment élargis dans le cadre des travaux R3 ;
- il s'est avéré à plusieurs reprises que le module de l'OFEV ne correspondait pas toujours aux conditions particulières du Rhône et manquait de robustesse compte-tenu des incertitudes, notamment pour les indicateurs P6 et P3 ;
- la fréquence d'éclusées n'est ainsi pas prise en compte dans la méthodologie de l'indicateur P6 alors que même si ce dernier est jugé bon ou très bon, l'habitat pourrait ne pas être utilisé par les poissons ; le calcul des débits naturels relatifs à l'indicateur P6 présente également de grandes incertitudes en raison de l'insuffisance des données et de références historiques

⁵⁰ Dans l'état projeté après R3 et en tenant compte de la renaturation des affluents

⁵¹ Pour la macrofaune benthique, les poissons et la turbidité.

disponibles ; comme l'indicateur dépend fortement de la surface mouillée, une morphologie en bancs alternés avec des débits très élevés peut offrir des aptitudes d'habitat élevées ; des déficits apparaissent là où les débits actuels s'écartent de la référence hydrologique et les valeurs cibles ainsi déterminées peuvent entraîner d'énormes travaux d'assainissement sans garantie de succès ; enfin, les paramètres utilisés (profondeur, vitesse) ne reflètent pas les petites structures morphologiques (microhabitats) et les abris indispensables à la truite fario ;

- l'indicateur frayères P3*, est basé quant à lui sur la stabilité des frayères (dépendant des contraintes de cisaillement) et la superficie de zone mises à sec mais ni la granulométrie ni le type de substrat en place ne sont pris en considération, d'autant plus que la modélisation de l'habitat est calculée qu'à l'aide d'un modèle 1D

Ces constats ont abouti à la nécessité de fixer, tronçon par tronçon, des objectifs globaux avant de pouvoir poursuivre les démarches avec des objectifs spécifiques précisant des seuils quantitatifs pour la définition des objectifs cibles : à lui seul, l'assainissement théorique complet de l'indicateur P2* (au stade larvaire et pour atteindre l'objectif « bon ») se situerait entre CHF 1 et 1.5 milliard de francs, avec des coûts annuels d'entretien, de maintenance et d'exploitation de CHF 5 à 6 millions. Le concept de biol conseils (2023) tend à fixer ainsi des objectifs globaux d'assainissement (fonctions écologiques et choix des indicateurs pertinents par tronçon pour la définition des objectifs cibles) pour l'Étape principale 2 « Etude de variantes » avant d'entrer dans les analyses de détail des mesures y relatives.

Même si un consensus autour de la priorisation des objectifs est actuellement en cours de recherche⁵², les réflexions et tendances suivantes ont été esquissées :

- en élargissant le lit actuel d'environ 1.6x sur la majeure partie du linéaire, R3 favorisera une formation de bancs alternés laquelle présentera des vitesses d'écoulement, un tri granulométrique, une morphologie plus diversifiée avec des zones d'accélération du courant et des zones plus calmes, qui devrait contribuer à un certain décolmatage des substrats ; des bras secondaires pourront apparaître et être en eau selon les conditions hydrologiques ; si une amélioration des habitats aquatiques est certaine au regard des déficits actuels, certains facteurs limitants comme la turbidité hivernale ou le régime glaciaire du fleuve ne seront pas influencés par R3 ; à l'exception de quelques zones en aval des confluences entre le Rhône et les rivières latérales et sur le Haut-Rhône, un objectif de reproduction naturelle des salmonidés n'est ainsi pas recherché
- les conditions sélectives du Rhône offrent un potentiel d'accueil plus favorable aux individus adultes ; les hautes eaux printanières étant défavorables aux stades larvaire et juvénile, les risques de dérive respectivement d'échouage sont ainsi limités ;
- seules la truite de rivière (*Salmo trutta fario*) et sa forme migratrice seraient retenues comme espèces-cible ;
- sur l'ensemble des tronçons du Rhône, trois catégories de fonctions écologiques ont été identifiées et seraient proposées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) : tronçon de frai (sur lesquels la priorisation devraient se porter), d'habitat et de migration, auxquelles seraient assignées des fonctions écologiques optimales différentes et, de fait, des indicateurs spécifiques⁵³.
- tous les tronçons **entre Brig et la confluence avec la Borgne⁵⁴** présenteraient un objectif d'habitat pour le poisson ; la turbidité et les atteintes en général étant moindres, un potentiel

⁵² Suite à une séance réunissant autorités compétentes et ONG et dont le compte-rendu devrait finalisé pour le 30 juin (com. pers. de M. T. M. (SEFH) du 23.06.23).

⁵³ Soit pour les tronçons de frai - tous les indicateurs principaux sont retenus car les enjeux sont élevés et le milieu propice ; une stabilité des frayères y est recherchée (indicateur P3*) afin que les alevins puissent se développer sans être soumis à un éventuel échouage, lequel doit être atténué pour le stade piscicole larvaire (indicateur P2*) ; pour les tronçons d'habitat - en l'absence de zones de frai même à l'état futur du fait des conditions naturelles limitantes ou de facteurs non maîtrisables, les indicateurs P3* et P2* stade larvaire seraient abandonnés et l'indicateur P6 (habitabilité des poissons pour les juvéniles et les adultes) est évalué ; pour les tronçons de migration - ces linéaires doivent garantir la libre circulation des poissons pour qu'ils puissent atteindre les tronçons favorables pour l'habitat et/ou le frai ; ainsi l'indicateur P2* (échouage) pour les poissons juvéniles est retenu pour fixer les valeurs pour les taux de descente du niveau d'eau et ainsi éviter que les poissons soient piégés sur d'éventuels bancs exondés.

⁵⁴ A l'exception des tronçons à débit résiduel.

écologique, notamment piscicole, plus élevé pourrait y être maintenu ;

- l'assainissement des éclusées sur le **linéaire aval** du Rhône à l'aval de Sion ne devrait pas péjorer la situation actuelle et apporter une plus-value vis-à-vis de la migration la truite pour garantir un accès aux affluents qui offrent les conditions propices à la reproduction de l'espèce, la fonction de migration étant essentielle ;
- avec la perspective d'une revitalisation en plaine proche de l'embouchure qui sera elle aussi élargie et moins soumise au turbinage des eaux glaciaires en hiver (prises au fil de l'eau), la **Borgne** est un affluent au potentiel piscicole relativement élevé ;
- avec un régime hydrologique glaciaire, des purges bisannuelles (barrage de Ferden) et des extractions mécaniques au dépotoir de Steg, aucun objectif piscicole prioritaire ne serait retenu sur la **Lonza** ;
- enfin, les indicateurs liés au macrozoobenthos (MZB) et la température ne seraient retenus que pour le monitoring ; la turbidité serait conservée en tant que facteur limitant. Protection contre les crues

Conformément au cahier des charges, la conduite multifonctionnelle n'a pas de vocation à laminar les crues du Rhône, même si la réalisation d'un ouvrage à grande capacité pourrait engendrer un gain de sécurité ou financier indirect. Grâce à l'évacuation parallèle des eaux turbinées dans la conduite multifonctionnelle, les centrales pourraient toujours turbiner en cas de crue et les lacs d'accumulation auraient encore plus de réserve de volume pour absorber les crues des bassins versants en amont des lacs.

Les discussions menées avec différents services montrent toutefois que les barrages jouent déjà aujourd'hui un rôle majeur dans la protection contre les crues. En cas de prévisions de crues, un turbinage préventif des volumes stockés dans les lacs d'accumulation est entrepris afin d'augmenter la capacité de stockage et absorber en partie les pics de la crue. La conduite multifonctionnelle n'entraînerait pas forcément une baisse de débit dans le Rhône puisqu'il est aujourd'hui déjà envisageable d'arrêter la production des barrages en cas de crue.

Les opportunités supplémentaires représentées par la présence d'une conduite multifonctionnelle sont donc négligeables par rapport au prix d'un tel ouvrage.

6. Contraintes

6.1 Cadre juridique, influence sur les concessions

Quiconque opère un prélèvement dans un cours d'eau à débit permanent (dans lequel de l'eau s'écoule toute l'année) doit être titulaire d'une autorisation selon l'article 29 de la loi fédérale sur la protection des eaux. Selon le service juridique du SEFH⁵⁵, la reprise des eaux turbinées par la CEM nécessiterait l'octroi d'une nouvelle concession à la société gérante ainsi qu'une décision de prélèvement d'eau, indépendamment des concessions existantes. Par ailleurs :

- comme l'art. 30b LEaux indique qu'un prélèvement peut être autorisé si, associé à d'autres prélèvements, il réduit de 20 % au plus le débit Q_{347} d'un cours d'eau et ne dépasse pas 1'000 l/s (art. 30b LEaux) et/ou que celui-ci ne doit pas dépasser 80 à 100 l/s pour l'eau potable⁵⁶, une dérogation serait nécessaire pour les variantes 2 et 3 ;
- si la loi sur les forces hydrauliques ne trouverait application qu'en cas de turbinage de ces eaux, le SEFH est d'avis qu'un prélèvement d'eau à usage exclusif (irrigation, industrie, eau potable, etc.) nécessitera une concession avec les procédures y relatives ;
- l'EIE devra notamment démontrer que les prélèvements opérés (in)directement dans le Rhône ne porteront pas atteinte aux concessions hydroélectriques au fil de l'eau octroyées par le canton (soit celles Susten-Chippis, Lavey et MBR) et, dans le cas de la première variante, que les objectifs environnementaux, hydrobiologiques et socio-économiques seront garantis, notamment dans un rapport sur les débits résiduels (art. 33 LEaux).

6.2 Débits résiduels

Le SEN⁵⁷, de nouvelles autorisations de prélèvement devaient probablement être réalisées si le tronçon à débit résiduel était modifié. Le SEN synthétise toutes les exigences pour préparer les autorisations et par conséquent, ne peut faire une analyse plus détaillée à ce stade. D'ailleurs les bases légales explicitées dans le rapport répondent à la problématique rencontrée. Nous estimons que ces derniers devront être garantis tant sur le Rhône que sur les affluents latéraux à l'aval des restitutions qui seront dérivées. En cas de prélèvement important, la loi fixe des exigences dans ses articles 31 à 35 selon trois étapes principales. L'éventuelle autorisation ne sera délivrée que si un débit résiduel convenable est maintenu et reposera sur un rapport présentant une pesée/justification des intérêts, qui plaideront tous en faveur d'une augmentation. Le rapport sur les débits résiduels (art. 33 LEaux) se basera sur les articles :

- 31 al. 1, qui fixe le débit résiduel minimal à garantir selon le débit d'étiage Q_{347} naturel ;
- 31 al. 2, qui détermine si le débit résiduel doit être augmenté pour satisfaire des exigences environnementales ;
- 32, par le biais duquel les cantons peuvent autoriser un débit résiduel inférieur ;
- 33, qui impose que les débits minimaux soient augmentés après une pesée des intérêts.

Cours d'eau	Stations	Q_{347}	$Q_{rés}$ (05/21)	$Q_{rés}$ 2023
Rhône	Brigue ¹	6'450	1'741	1'741
	Sion ¹	22'000	2'500	4'300
	Porte-du-Scex ¹	42'000	7'300	7'300
Vispa	Visp ¹	3'200	-	1'049.10
Lonza	Gampel-Steg ²	950	-	419.50
Borgne	Bramois ⁴	2'500	-	900
Lizerne	Ardon ²	270	-	178.4
Salanfe	Miéville ³	188	-	142

Tableau 5 Débits d'étiage Q_{347} et résiduels minimaux selon l'art. 31 LEaux [l/s]. Source : OFEV (1999). Sources : 1) OFEV – données historiques (1922-1964 à Brigue, 1916-1934 à Sion et 1914-1934 à la Porte du Scex et 1922-1956 sur la Vispa) ; 2) OFEFP (2000) – modélisation selon Aschwanden (1992) ; 3) Impact et al. 2023 (données historiques) et 4) BG et al. (2007).

⁵⁵ Com. pers. de M. Jean-Noël Gaspoz (SEFH) du 02.06.23.

⁵⁶ Respectivement si le prélèvement est opéré dans les eaux superficielles ou souterraines.

⁵⁷ La division Eaux de l'OFEV ne se prononce qu'en cas de sollicitation de la part du canton (com. pers. d'E. Person).

Même si on peut considérer que toutes les conditions ou intérêts sont réunis en faveur d'un tel prélèvement (art. 33 al. 2)⁵⁸ et que les débits résiduels théoriques déterminés dans le Rhône seront largement garantis, on peut d'ores et déjà affirmer - à l'exception éventuelle de la Lonza⁵⁹ - que les conditions des art. 31 al. 2 permettant de diminuer les débits résiduels ne **seront jamais remplies**⁶⁰ dans la variante maximale (8.3). Au contraire, toutes les exigences nécessitant d'augmenter les débits résiduels selon les art. 31 al. 1 devront être prises en considération dans la variante maximale puisque :

- la qualité des eaux superficielles ne sera pas conforme aux prescriptions en dépit du prélèvement et des déversements d'eaux à évacuer ;
- une alimentation des nappes d'eaux souterraines [AEP] et la teneur en eau des sols agricoles seraient sensiblement affectées, un abandon massif des prélèvements dans la nappe - qu'il soient pour l'alimentation en eau potable ou les besoins agricoles - au profit d'une alimentation exclusive via la conduite n'étant pas réaliste ;
- les biotopes et les biocénoses rares dont l'existence est liée directement ou indirectement à la nature et à la taille du cours d'eau ne seront pas conservés - surtout à l'horizon où de nombreuses revitalisations - tant sur le Rhône que les affluents latéraux - seront réalisés ;
- les profondeurs d'eau nécessaires à la libre migration des poissons seront difficilement garanties, notamment sur la Salanfe et la Borgne ;
- même si les eaux concernées présentant toutes un débit d'étiage $Q_{347} > 40$ l/s, la plupart des tronçons se situent à une altitude inférieure à 800 m.s.m et certains servent ou serviront de frayère aux poissons ou d'habitat à leur progéniture ;

Les intérêts au respect desquels le prélèvement pourrait s'opposer (et 33 al. 3) auront également une importance puisque :

- l'importance du cours d'eau en tant qu'élément du paysage ;
- à l'exception du Rhône - plutôt considéré comme un axe de migration piscicole à l'aval de Sion (5.7) et de la Lonza -, les cours d'eau impactés par le CEM revêtent une importance en tant que biotopes participant au maintien de la diversité de la faune et de la flore qui en dépendent et à la conservation du rendement de la pêche et de la reproduction naturelle des poissons; c'est plus particulièrement le cas de la Vispa et de la Borgne mais aussi du Rhône haut-valaisan et de la Lizerne ;
- le maintien d'un débit qui garantisse à long terme le respect des exigences quant à la qualité des eaux - notamment par rapport aux effluents de STEP et aux autorisations de déversement y relatives - doit être considéré ;
- au même titre que le maintien d'un régime équilibré des eaux souterraines qui permette, à long terme, d'utiliser celles-ci comme eau potable, de continuer à exploiter le sol selon le mode usuel et de préserver une végétation adaptée à la station;
- l'irrigation agricole devant être maintenue, les eaux dérivées alimentent d'importants réseaux de meunières ou la nappe, contribuant elle-même au fonctionnement de nombreux puits de pompage.

Si la pesée des intérêts contribuera à augmenter sensiblement les débits résiduels déterminés sur le Rhône, la prise en compte des débits mensuels ou annuels moyens (soit 42, 112 et 183 m³/s respectivement à Brigue, Sion et La Porte du Scex) permettrait de mieux tenir compte du régime hydrologique et d'aboutir à des débits résiduels minimaux supérieurs.

D'autres précisions relatives aux éventuels conséquences ou impacts sur les débits résiduels du Rhône et de certains affluents latéraux sont fournies dans les études de variantes (8.1 à 8.3).

⁵⁸ Soit a) les intérêts publics que le prélèvement devrait servir ; b) les intérêts économiques de la région d'où provient l'eau; c) les intérêts économiques de la personne qui entend opérer le prélèvement ou d) l'approvisionnement en énergie.

⁵⁹ Au regard de l'assainissement des éclusées et de la planification stratégique des renaturations.

⁶⁰ Puisqu'aucun des tronçons concernés par une éventuelle dérivation n'est situé à une altitude supérieure à 1'700 m.s.m et n'est non piscicole et se situe entre 1'500 et 1'700 m.s.m, ne présente un potentiel écologique faible (à l'exception, de la Lonza), ne se trouve dans une zone limitée de faible étendue et que des PPUE ont été établis et ne se trouve dans un environnement nécessitant des prélèvements temporaires destinés à l'irrigation de terres agricoles.

6.3 Infrastructures existantes

Les contraintes et conflits avec les infrastructures existantes (lignes THT, oléoduc, gazoduc, autoroute et voies CFF) ont été recensées pour chaque variante et cartographiées. Selon les variantes, un déplacement de ces infrastructures est inévitable. Dans l'estimation des coûts, les frais correspondants ont été chiffrés grossièrement et mis à charge du projet.

Pour les variantes à 30 m³/s et à 390 m³/s, les éventuels conflits avec les culées des ponts sur le Rhône n'ont pas été pris en compte : il a été admis que, localement, le canal serait adapté ou déplacé en dehors de ces ouvrages, ce qui pourrait toutefois comporter des incompatibilités avec une entrave du lit du Rhône et une influence négative sur la sécurité en cas de crue. Pour la variante à 390 m³/s, de nouveaux ouvrages pour traverser à plusieurs endroits l'autoroute et les voies CFF seront nécessaires.

Dans les éventuelles futures phases du projet, un recensement détaillé des conflits avec tous les autres types de conduite et de réseaux (eau potable, eau usée, conduites d'irrigation, câbles électriques, communication, chauffage à distance etc.) devra être entrepris. Ces conflits peuvent engendrer des frais supplémentaires parfois conséquent et non pris en compte dans la présente étude, qui concerneront surtout les deux plus grandes variantes à écoulement libre. La variante minimale, avec une conduite sous pression, permet une plus grande liberté de tracé et évite ainsi la plupart des conflits.

La nouvelle conduite et ses ouvrages de captage influence les aménagements hydrauliques existants (captages dans les canaux de fuite, écoulement potentiellement perturbé, travaux conséquents et parfois souterrains à proximité des groupes existants, ...) Dans les phases ultérieures éventuelles, des études de détail devront dimensionner les ouvrages de la conduite afin que ceux-ci ne prêterent pas l'exploitation des centrales existantes et ne créent pas de pertes de production trop conséquentes durant les travaux à proximité des centrales existantes.

7. Synergies avec grands projets

Le cahier des charges mentionne clairement que le projet de la conduite multifonctionnelle ne doit pas entraver le bon déroulement des autres grands projets en cours, notamment le projet de R3 et de l'A9 à Finges. Au contraire, le projet de la conduite multifonctionnelle doit être dimensionné et prévu de telle manière à ce que des synergies puissent être engendrées.

Au début du mandat, des séances de clarification ont eu lieu avec les responsables du projet de l'A9 et de R3 afin de discuter les différentes synergies envisageables, dont les compte-rendus sont fournis en annexe. Un plan de situation synthétisant les tronçons avec un potentiel de synergies a également été élaboré. Il montre de manière simplifiée les tronçons sur lesquelles en fonction du type des travaux et du planning de réalisation prévus dans le PAR3 des synergies pourraient être envisageables. Le tronçon avec des synergies par rapport au projet de l'A9 y est également représenté.

7.1 Projet de l'autoroute

Pour le tronçon de l'A9 à Finges, il serait envisageable de placer la conduite au-dessus de la tranchée couverte, en l'intégrant à la topographie finale du projet. La construction de la CEM pourrait débiter à la fin des travaux de l'A9, avant la mise en forme de la topographie finale, aux environs de 2035.

Il n'est en revanche pas possible de placer une telle conduite sous les ouvrages de l'A9 (problème d'accessibilité / sécurité) ou latéralement à ceux-ci (manque de place) ni d'utiliser les ouvrages de l'A9 (galerie technique, caisson, etc.) pour le passage de la conduite. Des synergies pourraient être envisagées par la pose d'une conduite aux dimensions relativement modestes et sous pression. Un écoulement libre n'est d'ailleurs pas possible en raison du profil en long du projet de la tranchée couverte.

7.2 Projet de la troisième correction du Rhône

Pour le projet de la troisième correction du Rhône, le groupement a analysé plusieurs tronçons où, en fonction des travaux prévus et des délais de réalisation, des éventuelles synergies seraient envisageables (Tableau 6) Les travaux sont classés par date de réalisation prévue⁶¹.

Tableau 6 Analyse des synergies potentielles par tronçons selon les travaux prévus par le projet R3.

Tableau des synergies potentielles avec le projet R3						
les mesures sont énumérées d'après leur date de réalisation prévue						
(selon informations de R3, les dates sont indicatives et sont amnées à être adaptées selon les budgets et la durée des projets - oppositions)						
Mesures	Début	Fin	Rive	Km début	Km fin	Synergie potentielle avec les travaux de R3
MA III Trient- Nant de Dranse	2027	2029	G	35	35.8	Synergie théoriquement possible (nouvelle digue), mais réalisation trop proche dans le temps
MP I Chablais	2028	2046	D	8.8	23.3	Synergie possible sur la majorité du tronçon car construction de nouvelles digues, à l'exception de 1300 m au niveau des "Iles"
			G	7.7	23.3	Synergie possible dans les zones non-urbanisées car construction de nouvelles digues; Pas de synergies possibles le long des zones urbanisées car digue existante renforcée par écran étanche sans autre aménagement prévu sur les digues
MP I Sierre-Chippis	2028	2033	D	79.4	82.1	Digue existante renforcée par écran étanche sans autre aménagement prévu et abaissement du lit
			G	80.7	82.1	
MP II Brig - Naters	2030	2036	G+D	115.5	121.7	Digue existante sans autre aménagement prévu et abaissement du lit
MA II Leuk - Raron A9	2030	2040	G	90.9	103.8	Digue existante renforcée par écran étanche sans autre aménagement prévu
MA II Leuk	2030	2040	D	90.9	93.3	Abaissement du lit sans nouveau aménagement sur les digues
MA II St-Léonard	2030	2034	D	71	72.5	Construction de nouvelles digues
MP I Coude de Martigny	2031	2036	D	35	39.5	Digue existante, sans autre aménagement prévu sur les digues
			G	35.8	39.5	Nouvelle berge plate
MP I Sierre - Grône	2032	2040	D	72.5	79.4	Digue existante sans autre aménagement prévu sur les digues et abaissement du lit
			G	71	80.7	Nouvelle digue prévue
MP I Sion - Vétroz	2033	2048	G+D	57.6	71	Synergie possible en dehors des zones urbanisées car nouveau tracé en méandre et construction de nouvelle digue ; Dans les zones urbanisées, pas de synergie possible car digue existante sans autre aménagement prévu
MP I Raron (A9)	2034	2040	G	103.8	107.4	Digue existante renforcée par un écran étanche sans autre aménagement sur les digues
MP II Mörel - Filet	2034	2037	G+D	121.6	127	Nouveau tracé en méandre sans nouveau aménagement des digues
MP I Riddes - Chamoson	2035	2040	D	53	54.6	Nouvelle berge plate
			G	53	54.6	Digue existante sans autre aménagement prévu sur les digues
MP II Ardon	2035	2040	D	54.6	57.6	Nouvelle digue prévue
			G	54.6	57.6	Digue existante sans autre aménagement prévu sur les digues
MP II Raron	2035	2044	D	103.5	107.4	Abaissement du lit sans nouveau aménagement sur les digues
MP II Vernayaz - Evionnaz	2036	2046	G+D	29.6	35	Synergie possible car nouvelle digue à l'exception de zones urbanisées car digue existante
MP II Chessel - Port-Valais	2036	2043	D	1.5	8.8	Digue existante sans autre aménagement prévu sur les digues et abaissement du lit
			G	0	7.7	
MP II Lavey - St-Maurice	2036	2041	G+D	23.3	27	Pas de synergie possible car digue existante, sauf sur 1500m en rive droite avec la construction de nouvelle digue
MP II Bratsch - Leuk	2037	2052	D	93.3	97.1	Nouvelle digue prévue
MP I Gampel - Steg	2039	2049	D	97.1	103.5	Nouvelle digue prévue
MP I Riddes - Fully (MP I Fully/MP II Riddes Saillons)	2040	2059	D	39.5	46	Pas de synergies dans les zones urbanisées car digue existante; Synergie possible car nouveau tracé en méandre et nouvelle digue
			G	39.5	46	Nouvelle digue prévue

Les synergies ne sont toutefois possibles que si l'intégration de la CEM au projet n'impacte pas de manière décisive le projet technique des travaux de protection contre les crues : un canal en béton ou une conduite qui occuperait, selon les variantes et les tronçons, une bonne partie de la place d'une digue impacterait de manière considérable le projet R3. La variante minimale se basant sur des diamètres de conduite bien plus petits et la conduite étant sous pression, une plus grande flexibilité des tracés peut être envisagée. Il semble donc tout à fait raisonnable d'intégrer une conduite de 600 à 700 mm dans le projet pour les tronçons où des travaux sont prévus. Dans une éventuelle phase ultérieure, ces synergies par tronçons devront être discutées en détail avec les responsables du projet de R3. Pour les tronçons suivants (Tableau 8), une synergie n'est plus possible, les travaux étant déjà exécutés ou en cours d'exécution.

⁶¹ Ces dates sont toutefois selon les responsables du projet de R3 indicatives et appelées à évoluer.

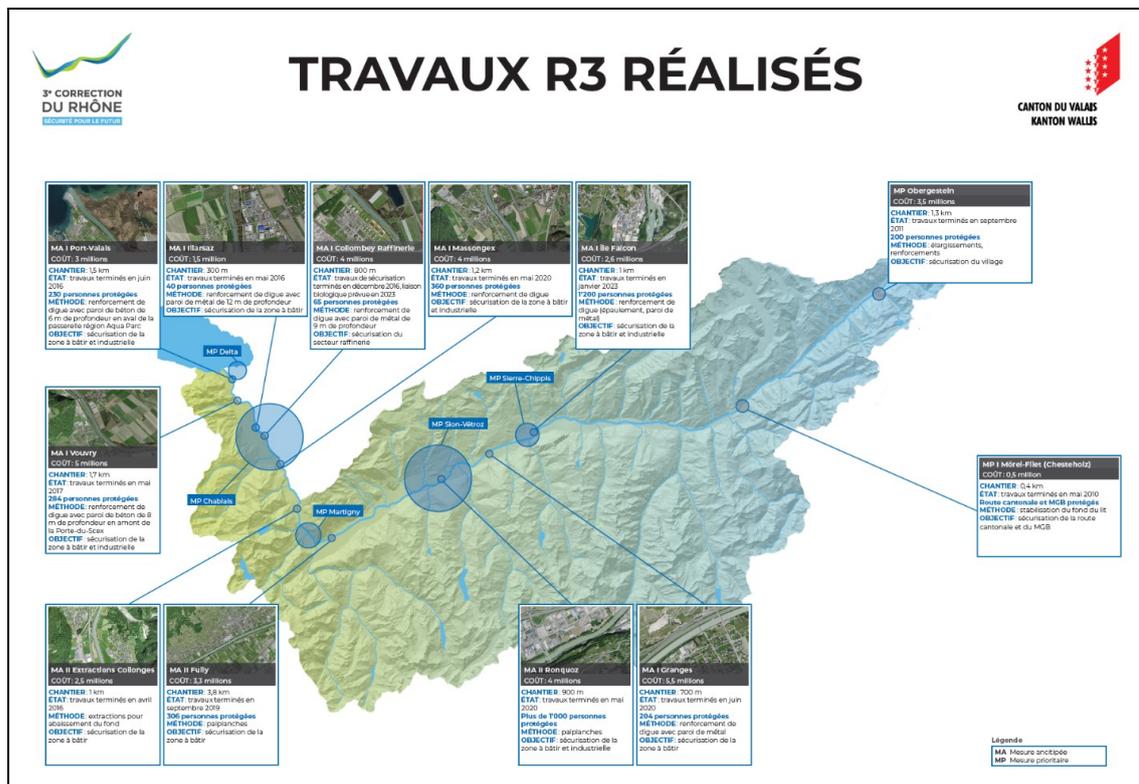


Figure 20 Tronçons déjà réalisés. Source: <https://www.vs.ch/web/rhone/>

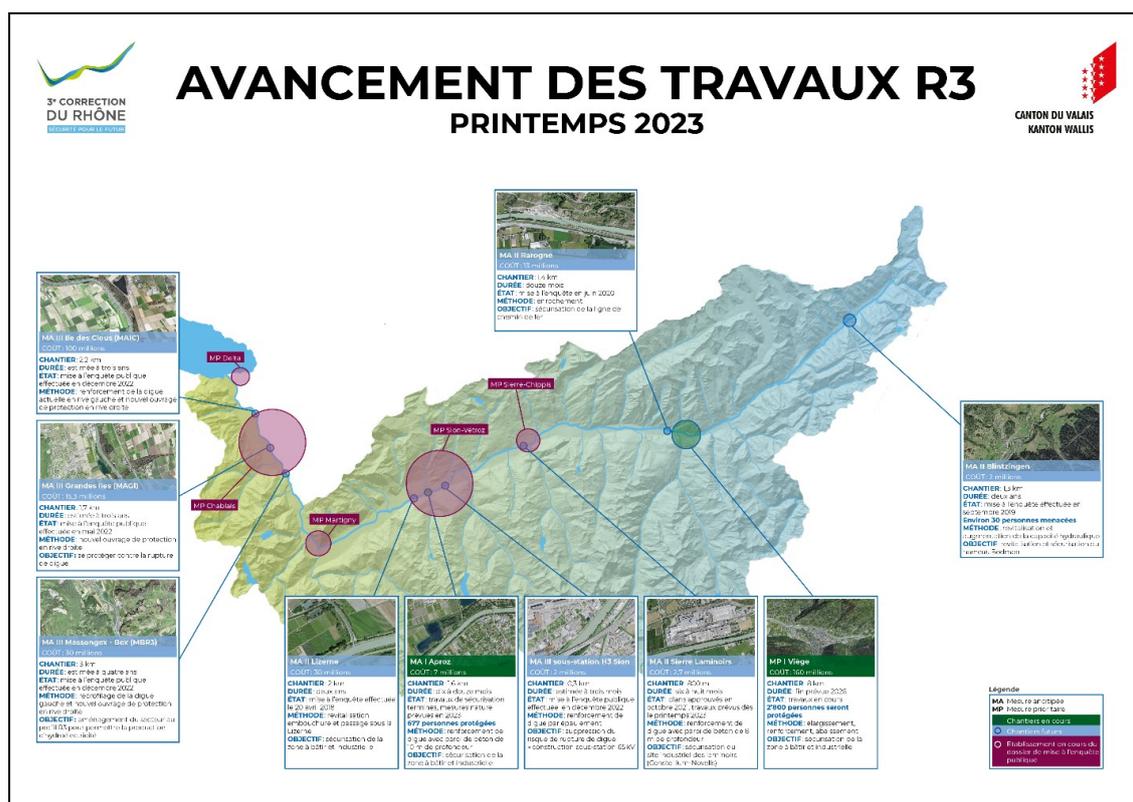


Figure 21 Tronçons en cours de réalisation. Source: <https://www.vs.ch/web/rhone/>

8. Etude de variantes

A ce stade de l'étude, les domaines environnementaux faisant l'objet d'une appréciation qualitative à semi-quantitative, certains thèmes n'ont pas été abordés ou approfondis dans les détails, notamment en ce qui concerne :

- les déchets (matériaux d'excavation), en termes de qualité, de réutilisation/valorisation/évacuation et de volumes foisonnés pour les variantes 3 et 2, qui généreraient respectivement environ 8.2 millions et 1.1 million de m³ de matériaux non foisonnés⁶² ;
- les organismes dangereux pour l'environnement (foyers de néophytes) ;
- les contraintes liées à la mobilité en phase de réalisation ;
- toutes les surfaces nécessaires au stockage des matériaux et du matériel ainsi que les pistes de chantier ;
- la conservation des forêts, pour lesquelles la constatation forestière définitive a été retenue ;
- les mesures en phase de réalisation à mettre en œuvre pour la protection des sols, des eaux (pompages, traitements, déversements), de l'air ou du bruit ;
- l'influence des variantes sur l'assainissement des éclusées pour certains indicateurs⁶³, les modèles hydrauliques permettant notamment d'évaluer les indicateurs P3* et P6* n'étant pas en notre possession.

Les analyses spatiales menées pour chacune des variantes ont été complétées par des cartes annexées (plans 9 à 12). Les calculs détaillés pour chaque tronçon (en termes de volumes excavés par exemple) sont disponibles sur demande.

⁶² En intégrant les raccords des centrales à la conduite principale. A titre de comparaison, le chantier Nant de Drance a généré environ 1.7 millions de m³ foisonnés.

⁶³ Pour tous les tronçons à l'exception de la Salanfe.

8.1 Variante 1 Locale – 225 l/seconde

8.1.1 Caractéristiques principales de la variante

Cette variante étudiée se focalise sur l'adéquation de l'offre et de la demande par rapport à l'échelle valaisanne. En fonction des besoins valaisans identifiés et des intérêts annoncés par divers tiers, les zones avec les volumes annuels les plus élevés et avec des besoins constants tout au long de l'année ont été délimitées. Ces zones ont été priorisées pour la délimitation de tronçons de la conduite multifonctionnelle, afin d'obtenir des prix de revient les plus intéressants possibles pour les utilisateurs potentiels.

8.1.2 Détermination du tracé

8.1.2.1 Tronçon Miéville - Chablais

Le premier tronçon se situe entre Miéville et le Chablais avec un intérêt annoncé des industries qui se trouvent sur le parcours. Les arguments suivants parlent en faveur du projet d'une conduite multifonctionnelle sur ce tronçon :

- besoins relativement **élevés** (et surtout constants sur toute l'année) des utilisateurs potentiellement intéressés, ce qui permet de diminuer le prix de revient au m³ distribué ; les besoins potentiels s'élèvent entre 58 l/s à 167 l/s.
- présence de **deux centrales** relativement proches des utilisateurs juste en amont du Bois-Noir, ce qui permet de fournir pour les utilisateurs en aval de la prise d'eau de Lavey, une pression de service intéressante ;
- la centrale de Miéville possède un profil de turbinage relativement irrégulier qui est dicté par la gestion des volumes du Lac de Salanfe;
- en revanche, la centrale de l'Aboyeu présente un profil de turbinage beaucoup plus régulier, bien qu'une galerie-réservoir d'environ 14'000 m³ permette d'optimiser les périodes de production en fonction des besoins du marché ; les eaux de l'Aboyeu sont fournies par des sources et il est probable que leur turbidité soit faible⁶⁴ ;
- une commune a annoncé son intérêt et sa capacité à distribuer, dans le futur, de l'eau directement potable à d'autres communes, il serait envisageable de poser, dans la même fouille, une conduite d'eau potable pour réaliser une interconnexion aujourd'hui partiellement manquante entre les communes situées entre Collonges et Monthey
- en considérant les dimensions de la conduite (Ø 600 – 700 mm) et un tracé relativement flexible (en raison du choix d'une conduite sous pression), il est raisonnable d'estimer un potentiel de synergies avec les différentes mesures envisagées par le projet R3 dans ce périmètre (des mesures avec de nouvelles digues sont notamment prévues) entre Vernayaz et Evionnaz ainsi qu'entre St-Maurice et Monthey).

Le principal désavantage de ce tracé est directement lié à la concurrence de deux aménagements hydroélectriques de Lavey et de Massongex (5.6.2).

8.1.2.2 Tronçon Finges-Sierre

L'autre tronçon avec une relative haute concentration de besoins est le site de Novelis à Chippis et Sierre. Actuellement, l'eau de refroidissement nécessaire est pompée de la nappe mais présente une dureté trop forte pour les installations. Des réflexions sont en également en cours par rapport à un projet de chauffage à distance de la ville de Sierre. Actuellement, il n'y a pas encore d'ordre de grandeur par rapport aux besoins potentiels, mais des discussions sont en cours et le projet de la conduite multifonctionnelle a été mentionné aux instigateurs du projet.

Pour répondre aux besoins en eau de ce tronçon, il serait envisageable de récupérer les eaux de la Navizence qui se situe à proximité immédiate du site. Il faudrait toutefois prévoir un pompage pour acheminer l'eau sur place. La centrale de la Navizence présente un profil intéressant (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) : en plus de turbiner les eaux du lac de de Moiry, la centrale de la Navizence

turbine également en continu les eaux des torrents de Fang et des Moulins. Il y a donc un approvisionnement de base potentiel toujours présent pour les éventuels utilisateurs.

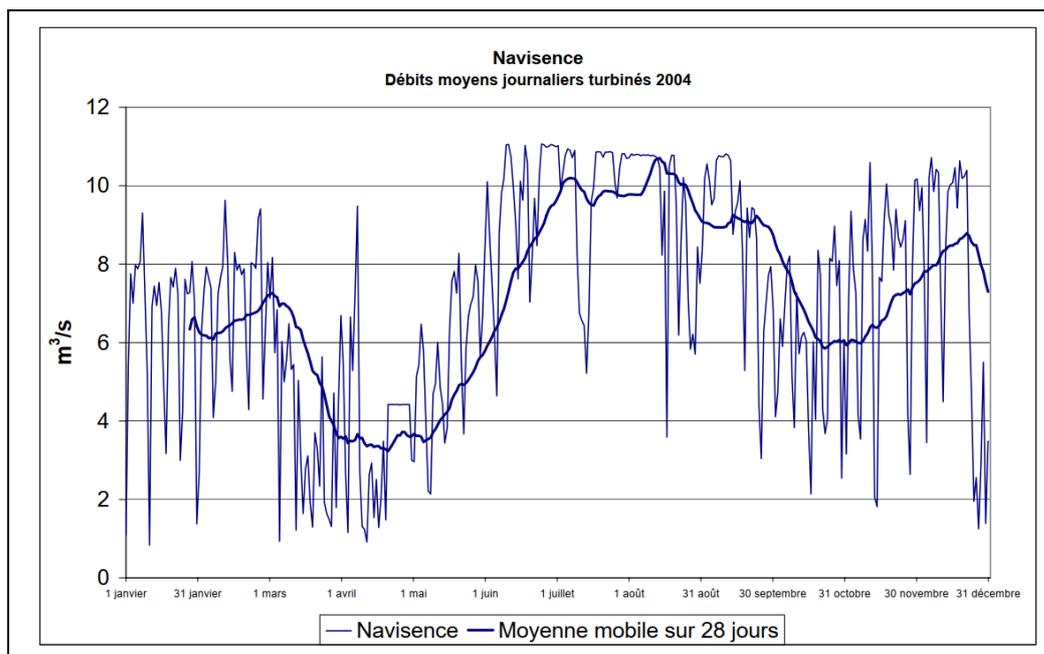
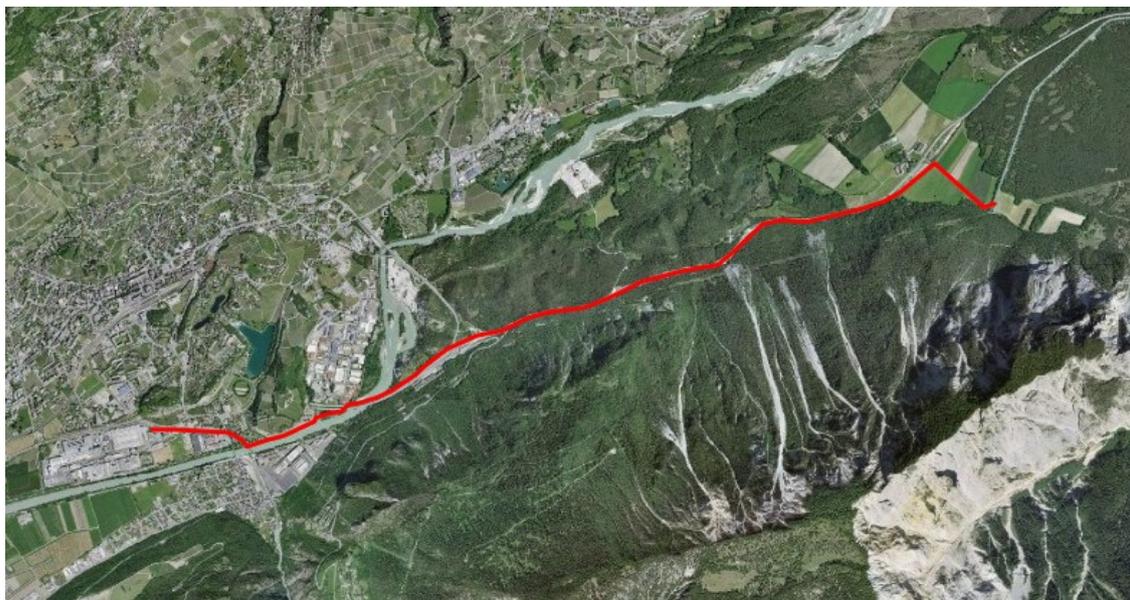


Figure 22 débits moyens journaliers turbinés à l'usine de la Navisence en 2004.

Une alternative ou un complément éventuellement intéressant qui a également été soumise aux potentiels utilisateurs intéressés serait de capter l'eau depuis le canal de Finges et profiter des synergies qui s'offrent avec la construction de l'autoroute à Finges pour poser à moindre frais une conduite qui présenterait une pression de service intéressante pour les utilisateurs potentiels. La différence entre la prise potentielle sur le canal de Susten et le site de Chippis est d'environ 90 m (Figure 23). Ces prises d'eau concurrenceraient toutefois à hauteur d'au moins 60% du temps la production électrique de l'aménagement de Susten – Chippis (5.6). Chaque m³ turbiné à Susten Chippis produit 0.17 kWh.



⁶⁴ Des analyses détaillées ne sont toutefois actuellement pas disponibles.

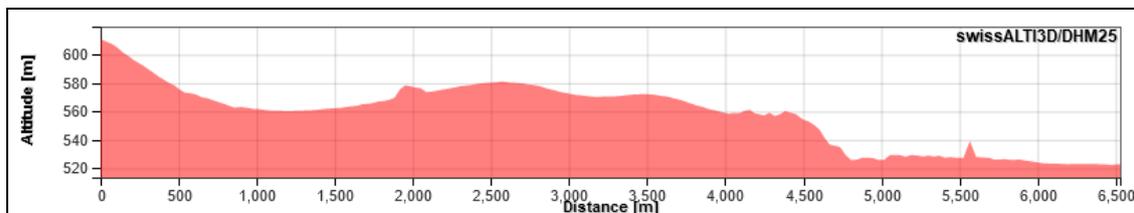


Figure 23 Esquisse d'un tracé potentiel de la conduite multifonctionnelle avec profil en long correspondant.

Ce tronçon avec potentiel n'a pas été étudié plus loin dans cette étude de faisabilité, en attendant le retour d'un éventuel intérêt des utilisateurs potentiels.

8.1.3 Dimensionnement et caractéristiques techniques

8.1.3.1 Dimensionnement hydraulique

Le dimensionnement de la conduite a été fait pour les besoins annoncés (Figure 24 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ces informations sont également disponibles dans le plan de cette variante, qui présente également le tracé et les profils types des conduites.

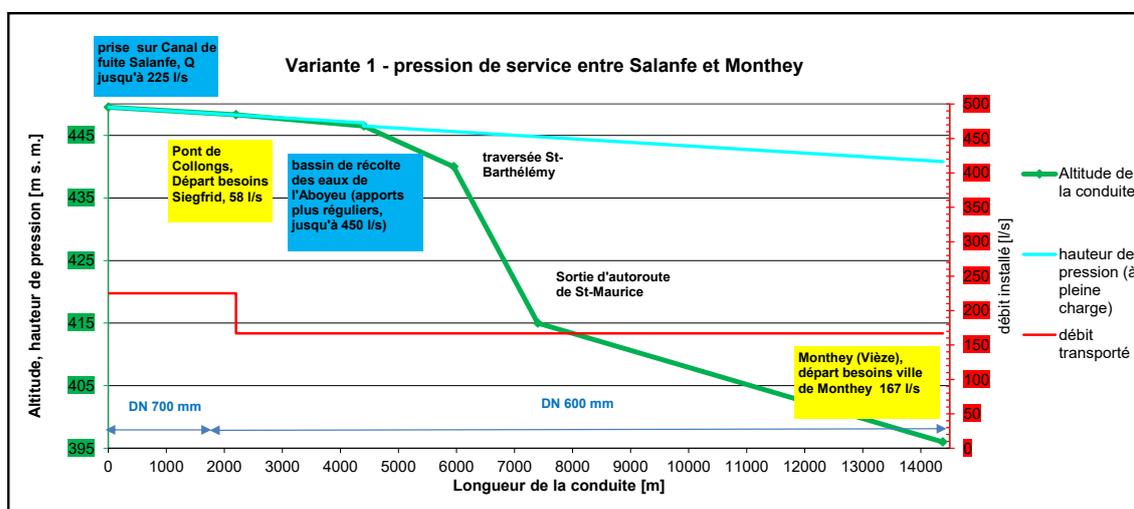


Figure 24 Visualisation de la pression de service en fonction des débits maximaux soutirés par les utilisateurs potentiels.

8.1.3.2 Profil type

Pour presque tout le linéaire, la conduite peut être posée de manière enterrée. Au vu des dimensions relativement faibles de la conduite et du fait qu'elle est sous pression, la faisabilité technique est possible par rapport aux premières investigations menées dans le cadre d'une analyse de faisabilité. Même si sur une partie du tronçon la conduite multifonctionnelle serait à proximité de l'oléoduc et de la conduite de gaz, il y a en raison de la flexibilité du tracé une cohabitation possible de ces conduites. Certains tronçons sont toutefois techniquement un peu plus complexes. Les passages des cours d'eaux latéraux peuvent avec ces dimensions se faire de manière assez aisée avec une suspension à un pont ou alors au besoin avec un passage sous le lit du torrent. La Figure 25 présente un profil type de la conduite avec la synergie évoquée de la pose d'une conduite d'eau potable dans la même fouille. Il est également possible de poser dans la même fouille pour des éventuels besoins d'automation ou de contrôle des différentes prises d'eau sur les aménagements existants un tube de protection de câble pour de la fibre optique.

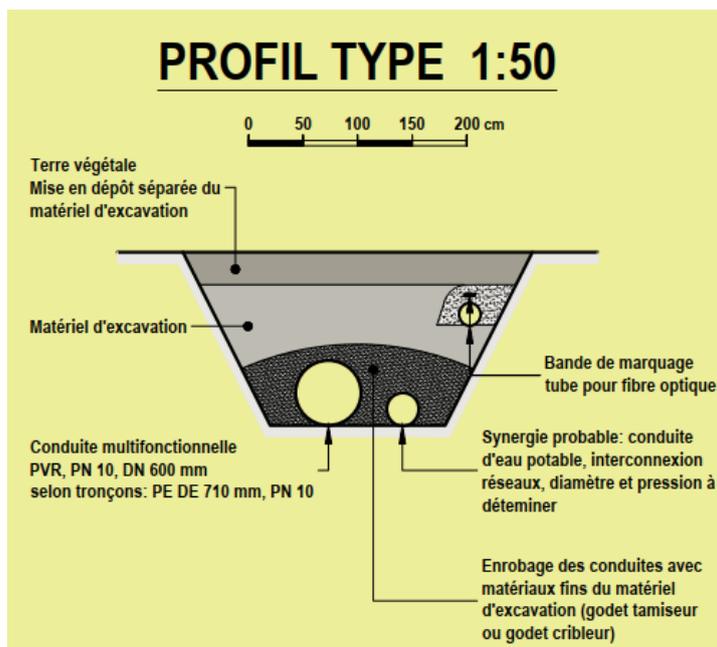


Figure 25 Profil type de la conduite multifonctionnelle pour la variante 1.

8.1.3.3 Concept des prises d'eau et du raccord

Les prises d'eau pour alimenter la conduite multifonctionnelle peuvent se faire sur au vu des faibles quantités prélevée depuis les canaux de fuite existant. Un petit bassin de mise en charge construit à côté du canal de fuite peut être envisagé. Une vanne permettrait de couper l'alimentation de ce bassin pour des éventuelles révisions ou mises hors service de la conduite multifonctionnelle. Le raccord du canal de fuite de l'Aboyeu à la conduite principale nécessite soit la réalisation d'un forage dirigé sous le Rhône soit la pose d'une conduite suspendue à une passerelle sur le Rhône. A la jonction avec la conduite principale, un bassin de récolte avec vannes et trop-plein directement relié au Rhône est envisagé à ce stade de l'étude. Il serait également envisageable de raccorder directement sous pression l'arrivée de l'Aboyeu dans la conduite principale, ce qui permettrait d'augmenter la pression à disposition pour des besoins industriels (la prise sur la centrale de l'Aboyeu est légèrement plus élevée que la prise de Salanfe), mais permettrait surtout d'augmenter les débits de l'Aboyeu lorsque Salanfe ne turbine pas.

8.1.4 Adéquation de l'offre à la demande

Les deux centrales envisagées pour possèdent une possibilité de stockage et fonctionnent ainsi par intermittence. La Figure 26 présente les débits moyens journaliers turbinés par l'aménagement en 2004 et montre en effet la variabilité temporelle de l'offre. Les volumes turbinés s'élèvent à 38.5 millions de m³ (14.6 millions en hiver, 23.9 en été) pour un débit installé de 6.5 m³/s.

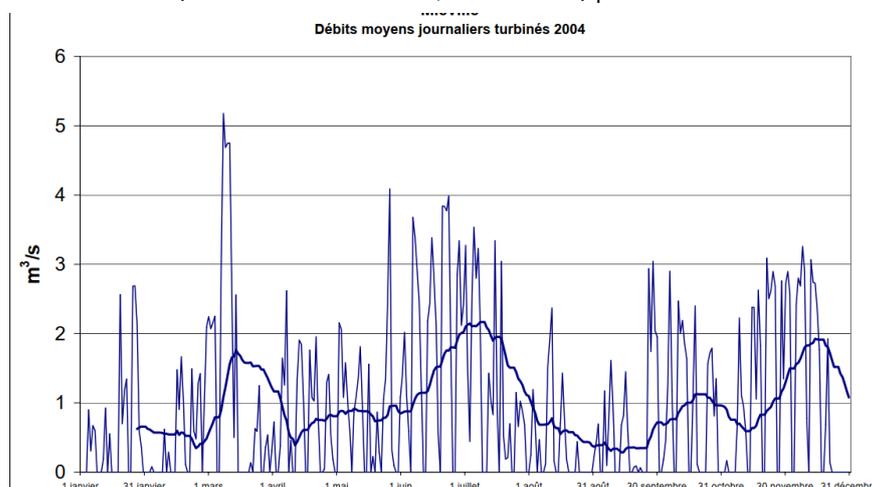


Figure 26 débits moyens journaliers turbinés en 2004. Source : GADZ (2005).

Selon un article paru en 1983 dans le Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Association des Entreprises électriques suisses, le débit d'étiage de l'Aboyeu est de 60 l/s. Cet

apport d'eau provient d'une part d'une importante résurgence en pleine paroi de rocheret, d'autre part, de deux sources à l'Au d'Arbignon alimentant l'Aboyeu. Un réservoir de 14'000 m³ permet d'optimiser la production pour les périodes où le débit à disposition est plus faible que le débit installé (450 l/s). Les volumes annuels moyens turbinés se chiffrent à 5.6 millions de m³, 1.9 millions en hiver.

Même en couplant l'offre de la centrale de Miéville à celle de l'Aboyeu, il n'est, en l'absence de régulation ou d'accord, pas possible de couvrir de manière continue les besoins identifiés des industries, malgré une offre totale largement supérieure à la demande (44.1 millions d'offre / 7.06 millions de demande). Des solutions avec des stockages intermédiaires chez l'utilisateur ou chez le fournisseur pourraient être envisagées.

8.1.5 Contraintes environnementales, territoriales et paysagères

Les différentes contraintes environnementales, territoriales et paysagères (en termes d'emprises) sont synthétisées dans le Tableau 9. On précisera :

- que si la conduite n'entre a priori pas en conflit avec la ligne THT, elle traversera à quatre reprises le gazoduc sur le deuxième tronçon et se superpose à l'oléoduc sur un linéaire d'environ 4'880 mètres ; le tracé pourra être décalé de manière à respecter la distance légale de cette installation ;
- que d'un point de vue de la protection de la nature, aucun inventaire fédéral se sera touché par le tracé ;
- qu'une surface de forêt de 850 m² constituant le cordon boisé des berges du Rhône est théoriquement impactée ;
- que 1'306 m² de surfaces d'assolement devraient être remis en état à l'issue des travaux ;
- que seul le site pollué D-6217-1206-00 (ancien site de stockage définitif pour l'enlèvement, le traitement des ordures et le traitement d'eaux usées) sur la commune de St-Maurice sera concerné par la conduite
- que d'un point de vue du patrimoine et du paysage naturels et bâtis, le tracé entrerait potentiellement en conflit avec l'objet ISOS 03.AA (château et ouvrages fortifiés contrôlant la cluse et marquant l'entrée Nord du site et le passage du Rhône) ; la conduite impacterait également des objets de l'inventaire des voies historiques en traversant la route des Bains de Lavey (VS 958) et, éventuellement, la route impériale du XIX^e siècle (VS 18.2) en la longeant sur un linéaire d'environ 6580 mètres ;
- que le tracé est implanté sur une surface d'environ 700 m² en zone archéologique de protection, sur les communes de Massongex et St-Maurice
- que d'un point de vue de la protection des eaux et des milieux aquatiques, cette variante n'occasionnerait aucun impact hydrobiologique sur l'Aboyeu – ce torrent n'étant pas considéré comme piscicole dans l'arrête quinquennal sur l'exercice de la pêche en Valais (2019-2023) et n'alimentant pas non plus un canal de plaine – puisque les débits du torrent seraient récoltés à leur embouchure dans le Rhône ; les prélèvements envisagés – tant sur la Salanfe ou que sur l'Aboyeu – et le tracé de la conduite seraient également compatibles avec l'éventuelle réalisation des mesures de la planification stratégique cantonale M1-013 (Salanfe, dont la rive gauche actuelle accueillerait la conduite), M1-008 (Rogneuse), M1-031 (C. des lles) et M1-010 (St-Barthélémy) ; le prélèvement par la CEM d'un débit maximal de 225 l/s n'aura par ailleurs aucune influence sur le débit résiduel puisque la dérivation n'interviendrait qu'en phase de turbinage ni sur l'Aboyeu, le torrent dont les débits seraient captés juste avant leur confluence (0) ni sur le Rhône ;
- que d'un point de vue de l'assainissement des éclusées et des débits résiduels, la réévaluation de l'indicateur P6* (OFEV, 2017 - 5.6.2) après ajustement des débits d'éclusee moyen ($Q_{Emoy\ red.}$) et maximal ($Q_{Emax\ red.}$) ne montre pas de différence significative en termes de surface présentant une bonne habitabilité (Tableau 7) et n'entraîne aucun changement de classe pour l'indicateur (Tableau 8). Le débit d'éclusee moyen ajusté réduirait légèrement la qualité de l'habitat sur les trois tronçons alors que l'ajustement du débit d'éclusee maximal augmente légèrement leur qualité, sauf sur le tronçon amont.

Tableau 7 Surface présentant une bonne habitabilité en réduisant les débits d'éclusées de 225 l/s.

Débit	Surface présentant une bonne habitabilité (m ²)					
	Truite fario adulte			Truite fario juvénile		
	Tronçon amont	Tronçon milieu	Tronçon aval	Tronçon amont	Tronçon milieu	Tronçon aval
Q ₁₈₂ (800 l/s)	107	1'008	1'446	65	463	245
Q _{Emoy} (3'000 l/s)	416	2'690	3'043	69	138	111
Q _{E_{max}} (6'000 l/s)	212	2'633	2'594	45	126	98
Q _{Emoy} réd. (2'775 l/s)	478	2'663	3'006	64	128	104
Q _{E_{max}} réd. (5'775 l/s)	225	2'611	2'714	35	155	105

Tableau 8 Perte de surface (%) de bonne habitabilité en fonction du débit selon le tronçon, après réduction des débits d'éclusées de 225 l/s.

Débit	Perte de surface de bonne habitabilité en fonction du débit selon le tronçon (%)					
	Truite fario adulte			Truite fario juvénile		
	Tronçon amont	Tronçon milieu	Tronçon aval	Tronçon amont	Tronçon milieu	Tronçon aval
Q ₁₈₂ - Q _{Emoy}	-288.79	-166.87	-110.44	-6.15	70.19	54.69
Q ₁₈₂ - Q _{E_{max}}	-98.13	-161.21	-79.39	30.77	72.79	60.00
Q ₁₈₂ - Q _{Emoy} réd.	-346.73	-164.19	-107.88	1.54	72.35	57.55
Q ₁₈₂ - Q _{E_{max}} réd.	-110.28	-159.03	-87.69	46.15	66.52	57.14

Etat	Perte
mauvais	> 50%
médiocre	30 < 50%
moyen	20 < 30 %
bon	10 < 20 %
excellent	<10% ou gain

Tableau 9 Synthèse des emprises (m² ou m) de la variante 1 (fouille d'une largeur de 2 mètres) sur les différentes contraintes environnementales, spatiales et techniques.

Domaine		Emprise [m ² ou m]	Remarque(s)
Zone d'affectation	Zone agricole	4'809	
	Zone artisanale	-	
	Zone industrielle	-	
	Zone d'habitat	-	
	Zone d'affectation différée	-	
	Zones de construction et d'installations d'intérêt public (A, B, C)	3'321	
	Zone de protection du paysage superposée	15'377	
	Zone de protection de la nature superposée	1'827	
	Autres zones d'affectation	-	
Zones de protection des eaux	S1	-	
	S2	358	
	S3	428	
Sites pollués	pas d'atteinte	822	Site de stockage définitif (enlèvement, traitement des ordures, traitement d'eaux usées) D-6217-1206-00
	ne nécessitant ni surveillance ni assainissement	-	
	investigations nécessaires	-	
	nécessitant une surveillance	-	
	nécessitant un assainissement	-	
Surfaces d'assolement		1'306	1'306
Forêt		850	Berges du Rhône
Emprise R3 (traversées)		16'663	
Inventaires fédéraux hors PAZ (paysage, OROEM, IFP)		-	
Zones archéologiques de protection		727	Massongex et St-Maurice (zones homologuées)
IVS		1'300	Traverse 1x la route des bains de Lavey vers st- Maurice (VS 958), longe la route impériale du XIX siècle (Château St-Maurice) sur 650m' (VS18.2)
ISOS		1'336	IV ab a (Plate-forme, en partie traitée en parc, occupée par les installations de l'usine hydro-électrique), II aa (Espace de transition planté d'arbres d'ornement, avec l'école) , IV a a (Berges du Rhône dominées par la route d'accès, médiocrement entretenues), 0.3 A A (Château et ouvrages fortifiés contrôlant la cluse marquant l'entrée nord du site et le passage du Rhône)
Planification des revitalisations		496	R-M1-01/R-M1-008/R-M1-031/R-M1-010
THT		-	Ne traverse pas la THT
oléoduc		9'760	Se superpose à l'oléoduc sur T1 – 80m' et T2 – 4'800 m'
gazoduc		-	La conduite croise 4 x sur le T2 le gazoduc

8.1.6 Production électrique

Pour la commune chablaisienne, l'intérêt du raccord à cette conduite repose essentiellement sur la pression qui peut être disponible à l'endroit du raccord. Un turbinage sur cette conduite est dès lors contreproductif. Les volumes qui transitent par la conduite concurrencent potentiellement deux aménagements hydroélectriques. Par contre les volumes potentiellement utilisés par l'industrie sont relâchés avant la prise de Lavey et sont donc non problématiques, au contraire des volumes en aval de l'installation qui sont impactés par cette dérivation des eaux. Le tableau ci-dessous (Tableau 10) mesure l'impact financier de cette concurrence, en faisant l'hypothèse d'un prix de vente de 6 ct/kWh.

Tableau 10 Impacts financiers de la concurrence hydroélectrique pour la variante n°1.

Aménagement concurrencé	[Mio m³/an]	[Mio kWh/an]	[CHF/an]
Lavey	3.945	0.3945	23'670.-
Massongex	3.945	0.1381	8'284.50

8.2 Variante 2 Régionale – 30 m³/seconde

8.2.1 Caractéristiques principales de la variante

La deuxième variante étudiée s'appuie sur l'hypothèse que des acheteurs extérieurs au canton auraient un intérêt à prélever jusqu'à 30 m³/s d'eau turbinée au Bouveret en vue d'une potabilisation ultérieure. Comme le suggère le rapport de SunAlpes (2006), les restitutions de La Bâtiaz et de Vernayaz n'ont pas été retenues en raison de la teneur de certains paramètres physico-chimiques vis-à-vis des normes en vigueur pour l'eau potable.

8.2.2 Détermination du tracé

Pour cette variante axée sur une vente d'eau à l'extérieur du canton en vue de sa potabilisation, la sécurité et stabilité de l'approvisionnement sont des éléments cruciaux pour la mise en valeur de cette ressource. Le raccord de plusieurs centrales qui possèdent des capacités de stockage (lacs d'accumulation) est souhaitable. Afin de maximiser la sécurité et diversité de l'approvisionnement mais d'éviter une explosion des coûts par rapport à une conduite traversant l'intégralité du Valais, cette variante de dimensionnement récolte partiellement les eaux turbinées en aval de la centrale de Bieudron à Riddes. Les eaux des centrales de Mauvoisin, de Miéville et de l'Aboyeu seraient également récoltées.

En raison des analyses de 2005 qui montrent une concentration assez élevée d'arsenic et d'uranium dans les eaux qui proviennent d'Emosson, les centrales de la Bâtiaz et de Vernayaz ne seraient pas connectées à cette conduite pour cette étude de faisabilité. Si cette variante devait toutefois être poursuivie ultérieurement, il serait intéressant de faire des analyses supplémentaires, car le raccord de ces centrales à la conduite est possible avec des coûts relativement faibles vu que les canaux de fuite existants rejettent les eaux déjà jusqu'au Rhône, à proximité immédiate de la nouvelle conduite. Dans le même ordre d'idée, il serait également intéressant d'analyser les eaux des centrales plus en contrebas comme par exemple les centrales de Vouvry (lac de Tannay) ainsi que les centrales de l'Avançon et du Fossau situées à Vionnaz et à Vouvry. Même si les débits turbinés sont modestes (310 l/s et 500 l/s), par rapport au débit de pointe de 30 m³/s, ces apports restent très intéressants lorsque les autres centrales qui possèdent des capacités de stockage ne sont pas en service.

8.2.3 Dimensionnement et caractéristiques techniques

8.2.3.1 Dimensionnement hydraulique

Le dimensionnement a été fait pour une conduite présentant une capacité de transport de 30 m³/s sur tout le linéaire, afin de permettre le maximum de flexibilité de la conduite par rapport aux sources d'approvisionnement. Chaque tronçon a été délimité de façon à présenter des caractéristiques semblables par rapport à la pente à disposition et aux types de travaux pour la conduite (Figure 27). Le dimensionnement de chaque tronçon a été fait de manière à garder une continuité dans le niveau d'énergie entre chaque tronçon, afin d'éviter des courbes de remous éventuellement problématiques. La variation d'énergie est faible entre les tronçons, car la pente est relativement similaire et surtout chaque tronçon est dimensionné pour le même débit maximal.

Les calculs ont été faits pour différentes hauteurs d'eau, afin de mieux appréhender les différents états de service de la conduite. Pour chaque hauteur d'eau, une estimation grossière de la vitesse limite à laquelle des sédiments de différentes tailles ne sont plus transportés sont également estimés. A partir d'un certain débit, les sédiments de plus d'un cm de diamètre sont transportés dans la conduite. Il s'agit toutefois de calculs de transport des sédiments fortement simplifiés qui ne tiennent pas compte des caractéristiques bi- et tridimensionnelles de l'écoulement dans la conduite ainsi que des conditions particulières qui sont présentes dans les différents ouvrages spéciaux.

Caractéristiques du tronçon: Sortie Bieudron - Ecône canal L = 4.5 m, H = 3.4 m J = 0.124 ‰, L = env. 5710 / Q = 30 m³/s														
hauteur eau h [m]	capacité hydraulique					capacité de transport des sédiments								
	remplissage partiel galerie de largeur (L = 4.5 m)			pente [-]	Kstr [m ^{1/3} /s]	v [m/s]	Q [m³/s]	hauteur de la ligne d'énergie h + v ² /2g [m]	nombre de Froude [-]	vlm [m/s] pour d = 0.5 mm	vlm [m/s] pour d = 1 mm	vlm [m/s] pour d = 5 mm	vlm [m/s] pour d = 10 mm	vlm [m/s] pour d = 50 mm
	Section [m²]	Périmètre mouillé [m]	rayon hydraulique [m]											
0.20	0.90	4.90	0.18	0.00124	55	0.63	0.56	0.22	0.32	0.21	0.29	0.65	0.92	2.06
0.40	1.80	5.30	0.34	0.00124	55	0.94	1.70	0.45	0.24	0.23	0.32	0.72	1.02	2.29
0.60	2.70	5.70	0.47	0.00124	55	1.18	3.18	0.67	0.20	0.24	0.34	0.76	1.08	2.42
0.80	3.60	6.10	0.59	0.00124	55	1.36	4.91	0.89	0.17	0.25	0.35	0.79	1.12	2.51
1.00	4.50	6.50	0.69	0.00124	55	1.52	6.82	1.12	0.15	0.26	0.36	0.81	1.15	2.57
1.20	5.40	6.90	0.78	0.00124	55	1.64	8.88	1.34	0.14	0.26	0.37	0.83	1.17	2.63
1.40	6.30	7.30	0.86	0.00124	55	1.76	11.06	1.56	0.13	0.27	0.38	0.84	1.19	2.67
1.60	7.20	7.70	0.94	0.00124	55	1.85	13.33	1.77	0.12	0.27	0.38	0.86	1.21	2.71
1.80	8.10	8.10	1.00	0.00124	55	1.94	15.69	1.99	0.11	0.27	0.39	0.87	1.22	2.74
2.00	9.00	8.50	1.06	0.00124	55	2.01	18.11	2.21	0.10	0.28	0.39	0.87	1.24	2.76
2.20	9.90	8.90	1.11	0.00124	55	2.08	20.58	2.42	0.10	0.28	0.39	0.88	1.25	2.79
2.40	10.80	9.30	1.16	0.00124	55	2.14	23.11	2.63	0.09	0.28	0.40	0.89	1.25	2.81
2.60	11.70	9.70	1.21	0.00124	55	2.19	25.68	2.85	0.09	0.28	0.40	0.89	1.26	2.82
2.80	12.60	10.10	1.25	0.00124	55	2.24	28.28	3.06	0.08	0.28	0.40	0.90	1.27	2.84
2.94	13.23	10.38	1.27	0.00124	55	2.28	30.12	3.20	0.08	0.28	0.40	0.90	1.27	2.85

Figure 27 Types de calculs effectués pour chaque tronçon⁶⁵.

8.2.3.2 Profil type, aspects constructifs et défis ponctuels

En raison de la pente relativement faible de la plaine du Rhône entre Riddes et le Léman, (à l'exception du passage du Bois-Noir), la conduite est matérialisée par un canal en béton d'une largeur utile variant entre 4.5 et 5.5 mètres. La hauteur d'eau à l'intérieur du canal en écoulement libre se monte selon les tronçons entre 2.50 m et 3.20 m. Ces dimensions ne sont pas du tout problématiques pour un canal en béton. En cas de terrain de mauvaise qualité ou en cas de pose dans une région avec des hautes eaux phréatiques, l'installation de micropieux pourrait être envisagée.

Avec ces dimensions, il est envisageable pour la majeure partie du linéaire de poser ce canal dans la plaine à proximité des digues du Rhône, sans préteriter le projet de la troisième correction du Rhône. Sur certains tronçons, il est toutefois inévitable d'intégrer ce canal dans les digues du Rhône, ce qui impacte le projet de PAR3 de manière conséquente. Ceci est notamment le cas pour le tronçon en aval de la prise d'eau de Lavey et pour le tronçon qui relie l'usine de Miéville à la conduite principale vers l'embouchure de la Salanfe. Ces tronçons sont extrêmement plats et pour assurer le transport de l'eau en aval, la conduite doit presque être posée au même niveau que les eaux de la Salanfe et du Rhône. De ce point de vue, cette variante ne respecte pas pour tous les tronçons les restrictions imposées par le cahier des charges.

Afin de limiter les coûts de construction, la conduite est planifiée de telle sorte qu'elle se trouve au maximum au-dessus de la nappe phréatique et du niveau d'eau du Rhône. Le niveau maximum de la conduite est toutefois déterminé par les cotes des canaux de fuite existants. Le corollaire de ce choix est qu'en cas de défaillance de la conduite, la plaine du Rhône serait rapidement inondée. De ce fait un concept de surveillance et d'automatisation de la conduite serait impérativement à prévoir. Les différents organes des prises sur les centrales existantes devraient pouvoir être télécommandés. De plus à intervalle réguliers des trop-pleins de sécurité devraient être placés. Direct en aval de ces trop-pleins des vannes télécommandées de service devraient pouvoir fermer la conduite et permettre l'évacuation de la totalité du débit par le trop-plein amont. A intervalles réguliers, il est recommandé d'avoir des ouvertures pour des inspections où notamment des caméras et des sondes de niveau / sédiment pourraient être installées.

D'un point de vue constructif cette variante fait face à plusieurs défis ponctuels, les plus importants sont énumérés dans ce paragraphe et sont également synthétisés dans un plan représentant par variantes les contraintes techniques.

- divers passages en siphon sous le lit des cours d'eau latéraux ou à l'embouchure des canaux de drainage de la plaine du Rhône doivent être prévus ;
- au verrou de St-Maurice, la topographie oblige la construction d'un pont d'une longueur d'environ 70 mètres qui croiserait le pont historique sur le Rhône, en passant dans l'espace vide sous la voûte de la rive gauche ; si cette variante semble techniquement possible, il n'est pas sûr qu'elle obtienne une autorisation de construire par rapport à l'impact sur le site historique

⁶⁵ La totalité des calculs est disponible dans l'annexe 8 de ce rapport.

du défilé de St-Maurice (8.2.4). Une alternative envisageable à cet endroit serait une variante souterraine avec la construction d'une galerie plus en amont et qui sortirait en aval du défilé de St-Maurice et du tunnel CFF.

- le tronçon en aval de la prise d'eau de Lavey est très pentu et les vitesses obtenues dans le canal deviennent problématiques pour la durabilité de l'ouvrage (risques d'érosion voir même de cavitation). A intervalles régulier, des ouvrages de brise énergie devraient être envisagés. L'alternative d'un turbinage de ce tronçon qui officierait également de brise énergie est discutée plus loin dans ce chapitre.
- divers tronçons avec éventuelle nécessité de déplacer la conduite de gaz ou l'oléoduc ; avec un canal en écoulement libre et d'une largeur de 4 à 5 mètres, la flexibilité pour éviter des obstacles est relativement réduite.

8.2.4 Contraintes environnementales, territoriales et paysagères

Les différentes contraintes environnementales, territoriales et paysagères (en termes d'emprises) sont synthétisées .

- que si la conduite n'entre a priori pas en conflit avec la ligne THT, elle traversera à cinq reprises le gazoduc (et se superposerait sur un linéaire d'environ 1850 mètres) et pourrait se superposer à l'oléoduc sur un linéaire d'environ 2'700 mètres ; le tracé pourra être décalé de manière à respecter la distance légale de cette installation ;
- que d'un point de vue de la protection de la nature, aucun inventaire fédéral se sera touché par le tracé ;
- que plus de 205'000 m² (a minima) de surfaces forestières seraient théoriquement impactés ;
- qu'une superficie de 68'000 m² de surfaces d'assolement devrait être remise en état ;
- que la conduite traverserait onze sites pollués, parmi lesquels deux nécessitent un assainissement à (D-6153-000-00 -) et à Collombey-Muraz (E-6152.142.00 - aire d'exploitation des anciennes raffineries de TAMOIL)
- que d'un point de vue du patrimoine et du paysage naturels et bâtis, le tracé entrerait potentiellement en conflit – en plus des objets mis en évidence pour la variante 1 (8.1.5) – avec les objets VS635.1, VS16.2, VS629, VS17, VS17.1, VS710, VS923, VS721 et VS860 ;
- que le tracé est implanté sur une surface d'environ 9'845 m² en zone archéologique de protection ;
- que d'un point de vue de la protection des eaux et des milieux aquatiques, cette variante n'occasionnerait aucun impact hydrobiologique sur l'Aboyeu ; si le tracé de la conduite devrait également être compatible avec l'éventuelle réalisation des mesures de la planification stratégique cantonale, M1-008 (Rogneuse), M1-031 (C. des Iles) et M1-010 (St-Barthélémy), une importante coordination devrait être engagée au regard des mesures R-P-1 (Fare), R-R3-2 et R-M3-001 (C. du Syndicat), M1-013 (Salanfe), R-M1-010 (St-Barthélémy), R-M1-003 (Vièze) ainsi que R-M1-053 et R-M1-001 (C. Stockalper) ;
- qu'en maintenant un débit d'éclusee (respectivement de restitution) d'un mètre cube seconde à Miéville, les conditions de migration piscicole seraient garanties pour la truite lacustre dans un secteur considéré comme prioritaire dans le concept de sauvegarde de l'espèce (Crettenand, 2017), le passage de la Salanfe sous l'autoroute nécessitant un débit d'environ 400 l/s pour garantir des profondeurs d'au moins 40 centimètres ; un tel débit ne sera pas non plus limitant en termes de vitesses, un franchissement étant possible jusqu'à 1'146 l/s pour toutes les tailles d'individus (géau, 2020 in Impact et al. 2023).

- que d'un point de vue de l'assainissement des éclusées et des débits résiduels sur la Salanfe, la réévaluation de l'indicateur P6* (OFEV, 2017 - 5.6.2) après ajustement du débit d'écluse à 1 m³/s (Q_E réd.) montre une diminution des surfaces de bonne habitabilité de surface présentant une bonne habitabilité (Tableau 7) et n'entraîne aucun changement de classe l'indicateur pour la truite fario adulte (Tableau 8) ; pour la truite juvénile les changements sont plus marqués. Les tronçons milieu et aval évalués comme représentant un état mauvais par débit d'écluse se voient désormais attribué un état respectivement bon et excellent. L'état du tronçon amont reste inchangé comparé au débit d'écluse moyen, mais on y constate également une augmentation des surfaces adaptées à la truite juvénile. La comparaison avec l'évaluation pour le débit d'écluse maximal révèle une amélioration significative : l'état du tronçon amont passe de médiocre à excellent.

Tableau 11 Surface présentant une bonne habitabilité en considérant un débit d'écluse d'un mètre cube seconde. N.B : En considérant la configuration hydrographique (affluents) et écomorphologique de la rivière, biol conseils et géau environnements (géau et biol, 2023a) ont défini trois tronçons à l'aval de la restitution de Miéville, soit 1) en aval immédiat de la restitution (état écomorphologique très atteint voire artificiel) ; 2) depuis l'aval de la route cantonale et des voies CFF, jusqu'à l'embouchure du petit canal affluent en rive droite et 3) linéaire de cette confluence jusqu'au Rhône, avec le passage sous l'autoroute.

Débit	Surface présentant une bonne habitabilité (m ²)					
	Truite fario adulte			Truite fario juvénile		
	Tronçon amont	Tronçon milieu	Tronçon aval	Tronçon amont	Tronçon milieu	Tronçon aval
Q ₁₈₂ (800 l/s)	107	1'008	1'446	65	463	245
Q _{Emoy} (3'000 l/s)	416	2'690	3'043	69	138	111
Q _E max (6'000 l/s)	212	2'633	2'594	45	126	98
Q _E réd. (1'000 l/s)	149	1'283	1'951	89	410	282

Tableau 12 Perte de surface (%) de bonne habitabilité en fonction du débit selon le tronçon, après diminution des débits d'éclusées à 1'000 l/s.

Débit	Perte de surface de bonne habitabilité en fonction du débit selon le tronçon (%)					
	Truite fario adulte			Truite fario juvénile		
	Tronçon amont	Tronçon milieu	Tronçon aval	Tronçon amont	Tronçon milieu	Tronçon aval
Q ₁₈₂ - Q _{Emoy}	-288.79	-166.87	-110.44	-6.15	70.19	54.69
Q ₁₈₂ - Q _E max	-98.13	-161.21	-79.39	30.77	72.79	60.00
Q ₁₈₂ - Q _E réd.	-39.25	-27.28	-34.92	-36.92	11.45	-15.10

Etat	Perte
mauvais	> 50%
médiocre	30 < 50%
moyen	20 < 30 %
bon	10 < 20 %
excellent	<10% ou gain

Domaine		Emprise [m ² ou m]	Remarque(s)
Zone d'affectation	Zone agricole	32'125	
	Zone artisanale	637	
	Zone industrielle	334	
	Zone d'habitat	3'219	
	Zone d'affectation différée	235	T1: Zone mixte avec habitat
	Zones de construction et d'installations d'intérêt public (A, B, C)	7'062	
	Zone de protection du paysage superposée	313'149	
	Zone de protection de la nature superposée	194'348	
	Autres zones d'affectation	165	T6: Zone d'extraction et dépôt de matériaux
Zones de protection des eaux	S1	-	
	S2	8'957	
	S3	20'648	
Sites pollués	pas d'atteinte	533	T6 - D-6217-1206-00 (site de stockage définitif)
	ne nécessitant ni surveillance ni assainissement	4'046	T2 - D-6141-003-00 (site de stockage définitif) / T4 - D-6219-1211-00 (site de stockage définitif) / T10 - E-6153-182-00 (aire d'exploitation) / T11 - E-6154-011-00 (aire d'exploitation)
	investigations nécessaires	330	T2 - E-6136-610-00 (aire d'exploitation)
	nécessitant une surveillance	416	T2 - D-6136-026-00 (site de stockage définitif) / T10 - D-6152-020-00 (site de stockage définitif) et D-6153-148-04
	nécessitant un assainissement	4'830	T10 - D-6153-000-00 (site de stockage définitif) et E-6152-142-00 (aire d'exploitation)
Surfaces d'assolement		68'122	
Forêt		205'225	Estimation faite selon les constatations forestières définitives
Emprise R3 (traversées)		643'432	
Inventaires fédéraux hors PAZ (paysage, OROEM, IFP)		-	
Zones archéologiques de protection		9'845	
IVS		-	T2 - VS 624 (Saillon - Saxon local, tracé historique), VS635.1 (local, tracé historique), VS860 (local, tracé historique Fully- Charrat), VS 16.2 (national, substance, Rive droite par le pont de Branson) / T5 - VS629 (local tracé historique, (Evionnaz -) VS 17 - Collonges) / T7 - VS958 (local, tracé historique, Saint-Maurice - Lavey les Bains) / T10 - VS 17.1 (national, tracé hist., Grand-route), VS710 (régional, tracé historique, (Monthey -) Collombey - Ollon (- Aigle)), VS923 (local tracé historique, Vionnaz - Aigle) / T11 - VS721
ISOS		2'212	T9/T10 - IV aa (Berges du Rhône dominées par la route d'accès, médiocrement entretenues) / 0.3 A A (Château et ouvrages fortifiés contrôlant la cluse marquant l'entrée nord du site et le passage du Rhône) / T10 - II aa
Planification des revitalisations		11'988	R-P-1 / R-R3-2 / R-M3-00 / R-M1-015 / R-M1-013 / R-M1-010 / R-M1-008 / R-M1-003 / R-M1-031 / R-M1-053 / R-M1-001
THT		-	
oléoduc		-	
gazoduc		-	Se superpose à l'oléoduc sur T4 - 397m' / T5 - 580m' / T8 - 1'100m' / T9 - 60m' / T10 - 550m'

8.2.5 Adéquation de l'offre à la demande

Les graphiques suivants des débits journaliers moyens turbinés dans les aménagements de Nendaz, Riddes et Miéville permettent de se faire une idée de l'adéquation entre l'offre et la demande. Les débits journaliers de la Bâtiaz et Vernayaz sont également représentés, afin de montrer l'intérêt de raccorder également ces deux centrales, si des analyses supplémentaires peuvent écarter le risque d'atteindre des concentrations trop fortes en arsenic ou uranium. Avec la prise en compte d'une certaine dilution, il est probable que ces centrales puissent également être raccordées.

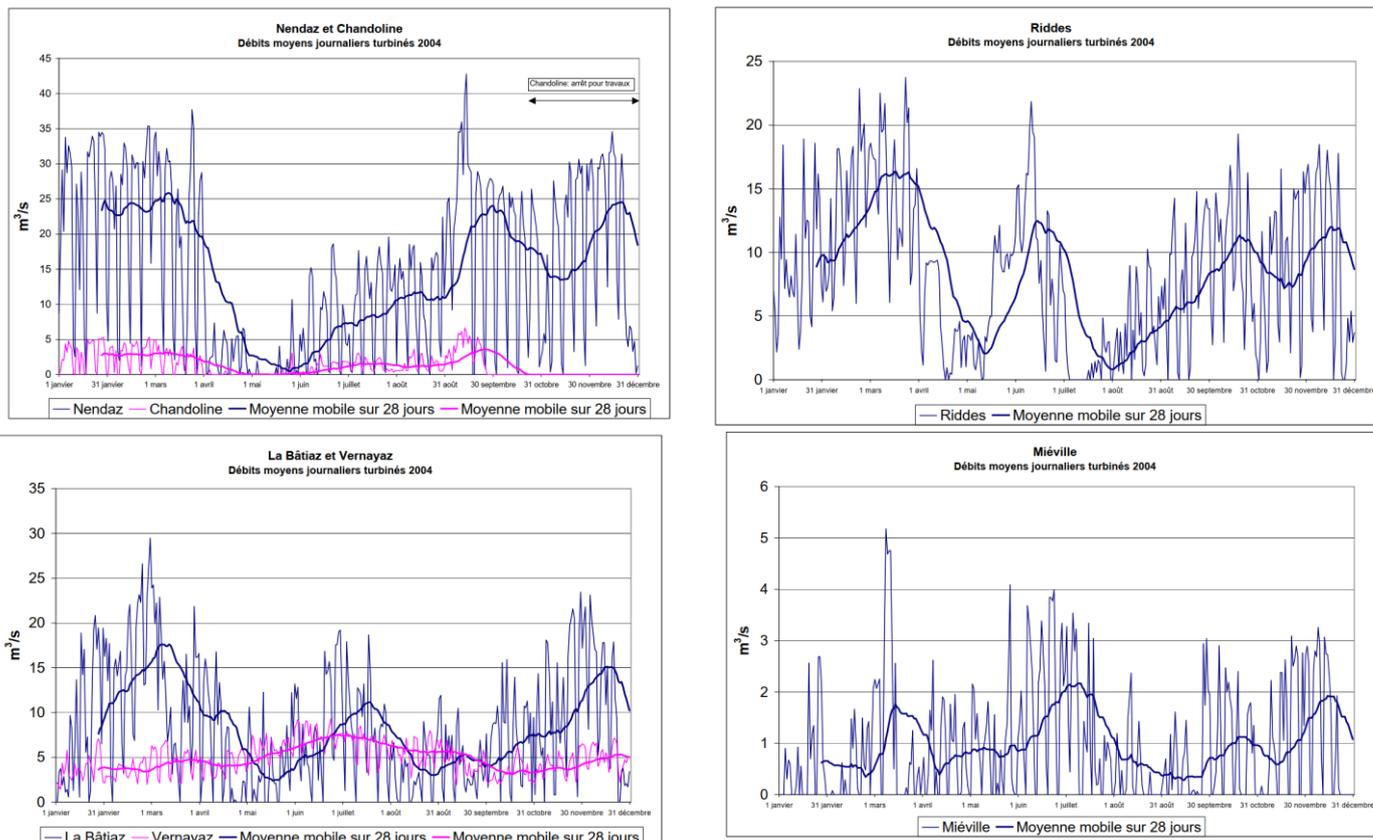


Figure 28 Débits journaliers moyens turbinés pour les centrales raccordées à la conduite multifonctionnelle. Il est intéressant de constater que les centrales de Riddes, la Bâtiaz et Miéville présentent une moyenne lissée à 28 jours qui ont presque les mêmes caractéristiques. En 2004, la centrale de Bieudron était hors service et il n'y a donc pas de données à disposition.

Il s'avère inutile de faire des calculs précis pour l'année 2004 afin de déterminer un débit minimum à disposition. La stratégie de gestion de ces aménagements évolue continuellement avec le marché de l'électricité et ces calculs représenteraient une vision ponctuelle de 2004 qui ne serait plus valable actuellement.

Au vu des débits de 2004, il est intéressant de noter que logiquement les centrales à accumulation suivent la même stratégie par rapport au turbinage, la courbe des débits de Riddes, la Bâtiaz et Miéville est assez semblable. Le fait que cette variante récolte les eaux d'aménagements qui répondent aux mêmes stimuli du marché électrique est un désavantage notoire pour une vente d'eau potable qui présente un besoin constant. Les débits totaux turbinés par les aménagements de Bieudron, Nendaz, Mauvoisin, Miéville et l'Aboyeu représentent environ 963.2 millions de m³ par an, ce qui correspond à un débit moyen de 30.5 m³/s.

En admettant qu'au maximum environ 65% de ces volumes pourraient être captés puis revendus, on obtient un volume d'environ 630 millions de m³ par an et un débit théorique moyen de 19.85 m³/s.

En réalité, sans coordination entre les aménagements électriques, des débits livrés de 30 m³/s ne seront pas constants et des périodes durant lesquelles la conduite est vide jusqu'au Bouveret sont possibles. La capacité de stockage de la conduite avec un dimensionnement de 30 m³/s est au maximum d'environ 1 million de m³. Ce volume correspond à une réserve d'un jour en cas de consommation d'environ 11 m³/s. Ce volume ne peut toutefois ne peut pas être exploité sans différentes mesures constructives (délimitation de tronçons avec écluses régulières et trop-pleins) pour éviter que le canal en béton ne soit mis sous une pression non-admissible.

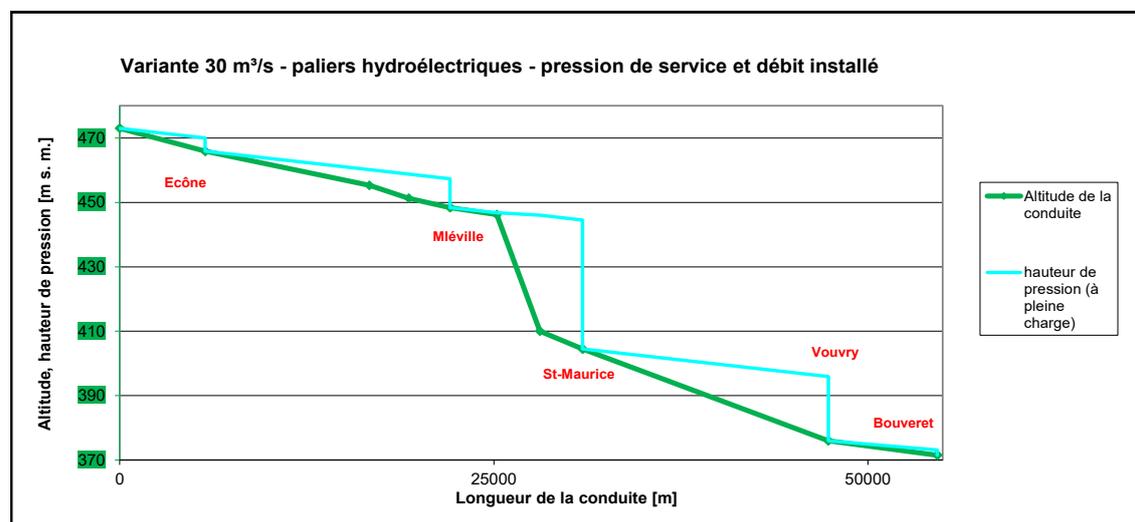
8.2.6 Production électrique

Le potentiel de production électrique a été estimé selon le procédé décrit dans le chapitre 5.5 de ce rapport. Dans un premier temps, les pertes de charge ont été estimées après avoir agrandi les dimensions de la conduite afin de limiter les pertes de charges et d'avoir encore un potentiel de production électrique. Le tableau suivant montre les agrandissements nécessaires du profil d'écoulement. Les chiffres en rouge dans la dernière colonne montrent que les pressions à l'intérieur de la conduite sont trop élevées pour quasiment la totalité des tronçons pour rester sur une solution de canal en béton. Il faudrait remplacer le canal par une conduite d'un diamètre équivalent d'environ 4.80 m, ce qui engendrerait des surcoûts importants.

liste des tronçons (variante conduite sous pression avec centrales)								
nom du tronçon	type d'ouvrage	débit max [m³/s]	longueur tronçon [m]	surface profil initial (écoulement libre) [m²]	surface pour diminution des pertes de charge [m²]	Diamètre équivalent [m]	vitesse d'écoulement à pleine charge [m/s]	pression max / pression de service à pleine charge [m]
Sortie Bieudron - Ecône	canal enterré	30	5710	15.3	18	4.79	1.67	7.1 / 4.1
Ecône - Coude du Rhône	canal enterré	30	10970	15.3	18	4.79	1.67	10.6 / 4.9
Coude du Rhône - Vernayaz	canal enterré	30	2630	15.3	18	4.79	1.67	14.6 / 7.5
Vernayaz - centrale Miéville	canal enterré	30	2760	15.3	18	4.79	1.67	17.5 / 9
Centrale Miéville - Prise Lavey	canal enterré	30	3130	17.5	18	4.79	1.67	2.2 / 0.6
Prise Lavey - Sortie d'autoroute	canal enterré	30	1450	11.2	18	4.79	1.67	38.4 / 36
Sortie d'autoroute - St-Maurice	canal enterré	30	2790	13.5	18	4.79	1.67	43.9 / 40
St-Maurice - Vouvry	canal enterré	30	16430	14.4	18	4.79	1.67	28.5 / 19.9
Vouvry - Bouveret	canal enterré	30	7270	18.15	20	5.05	1.50	4.5 / 1.6

Figure 29

Les résultats des calculs de perte de charge et de production potentielle, tout en tenant compte de la concurrence aux aménagements existants sont représentés dans les figures et tableaux suivants.



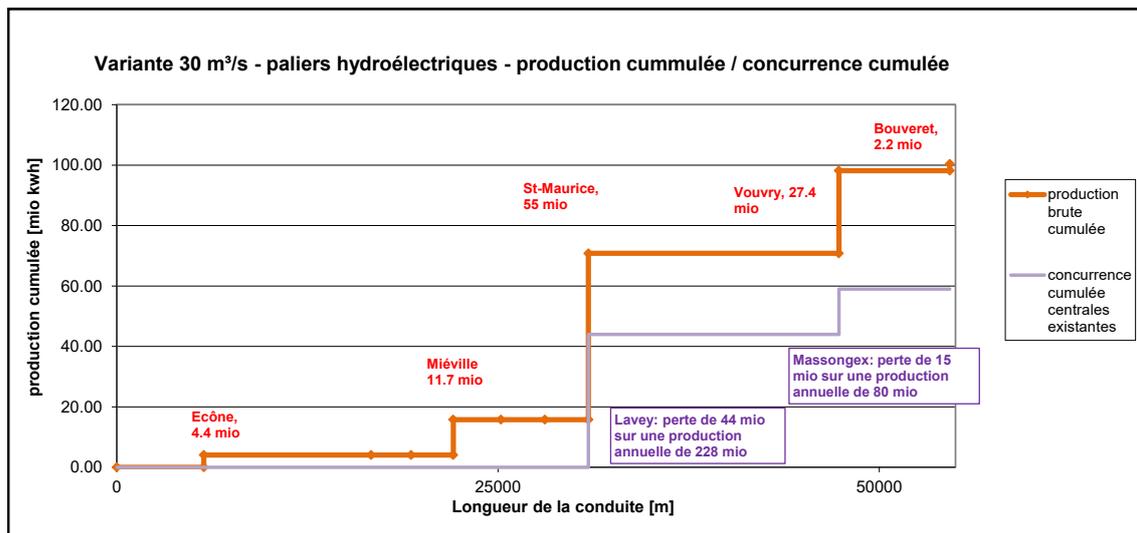


Figure 30 paliers de production potentielle le long de la nouvelle conduite fonctionnelle. En haut : pression de service, en bas potentiel cumulé de production et de concurrence aux centrales existantes

Tronçon	prise Bieudron / Nendaz	raccord Bieudron / Nendaz - Mauvoisin	Centrale Ecône	raccord Mauvoisin - raccord Batiatz	raccord Batiatz - raccord CFF Vernayaz	raccord CFF Vernayaz - raccord Salanfe	centrale Miéville
Position conduite [m]	0	5710	5710	16680	19310	22070	22070
Altitude conduite [m.s.m.]	473	465.9	465.9	455.3	451.3	448.4	448.4
Longueur Tronçon		5710		10970	2630	2760	
profil écoulement libre agrandissement profil pour limiter les pertes de charge							
Surface mouillée [m²] (profil agrandi)	18.0	18.0		18.0	18.0	18.0	
Dequivalent [m]	4.79	4.79		4.79	4.79	4.79	
rugosité du système ks [m]	0.003	0.003		0.003	0.003	0.003	
Epsilon (ks / DI)	0.00063	0.00063		0.00063	0.00063	0.00063	
A [m²]	18.00	18.00		18.00	18.00	18.00	
débit [m³/s]	30	30	30	30	30	30	30
v [m/s]	1.67	1.67		1.67	1.67	1.67	
Nombre de Reynold [-]	6090722	6090722		6090722	6090722	6090722	
f(epsilon, Re)	0.01765	0.01765		0.01765	0.01765	0.01765	
Gradient de perte de charge Jf [%]	0.05	0.05		0.05	0.05	0.05	
Pertes de charge sur le tronçon [m]	0.00	2.98		5.73	1.37	1.44	
Pertes cumulées depuis centrale [m]	0.00	2.98		5.73	7.10	8.54	
Hauteur de pression [m s. m.]	473.00	470.02	465.90	460.17	458.80	457.36	448.40
Pression de service en pleine charge [m]		4.12		4.87	7.50	8.96	
pression de service max [m]		7.1		10.6	14.6	17.5	
puissance potentielle pour centrale [kW] rendement admis 80%		pression trop élevée	970	pression trop élevée	pression trop élevée	pression trop élevée	2109
Débits annuels [mio/m²]		pour tronçon canal en béton	450.0	pour tronçon canal en béton	pour tronçon canal en béton	pour tronçon canal en béton	600.0
heures à pleine charge [h/an]			4167				5556
prod max [mio kwh/an]			4.04				11.72
énergie par m³ [kWh/m³]			0.009				0.020
concurrence [mio kwh/an]			0.000				0.000
production cumulée [mio kwh/an]			4.0				15.8
concurrence cumulée [mio kwh/an]			0.000				0.000

Tronçon	raccord Salanfe - prise Lavey	prise Lavey - Sortie Autoroute	Sortie Autoroute	centrale St- Maurice	sortie St Maurice- Vouvry	centrale Vouvry	Vouvry - Léman	centrale Bouveret
Position conduite [m]	25200	28080	30930	30930	47360	47360	54630	54630
Altitude conduite [m.s.m.]	446.2	410	404.5	404.5	376	376	371.5	371.5
Longueur Tronçon	3130	2880	2850		16430		7270	
profil écoulement libre								
agrandissement profil pour limiter les pertes de charge								
Surface mouillée [m²] (profil agrandi)	18.0	18.0	18.0		18.0		20.0	
Dequivalent [m]	4.79	4.79	4.79		4.79		5.05	
rugosité du système ks [m]	0.003	0	0.003		0.003		0.003	
Epsilon (ks / DI)	0.00063	0.00000	0.00063		0.00063		0.00059	
A [m²]	18.00	18.00	18.00		18.00		20.00	
débit [m³/s]	30	30	30	30	30	30	30	30
v [m/s]	1.67	1.67	1.67		1.67		1.50	
Nombre de Reynold [-]	6090722	6090722	6090722		6090722		5778166	
f(epsilon, Re)	0.01765	0.00872	0.01765		0.01765		0.01745	
Gradient de perte de charge Jf [%]	0.05	0.03	0.05		0.05		0.04	
Pertes de charge sur le tronçon [m]	1.63	0.74	1.49		8.58		2.88	
Pertes cumulées depuis centrale [m]	1.63	2.38	3.86		8.58		2.88	
Hauteur de pression [m s. m.]	446.77	446.02	444.54	404.50	395.92	376.00	373.12	371.50
Pression de service en pleine charge [m]	0.57	36.02	40.04		19.92		1.62	
pression de service max [m]	2.2	38.4	43.9		28.5		4.5	
puissance potentielle pour centrale [kW] rendement admis 80%				9426		4691		381
Débits annuels [mio/m³]				630.7		630.7		630.7
heures à pleine charge [h/an]				5840		5840		5840
prod max [mio kWh/an]				55.05		27.39		2.22
énergie par m³ [kWh/m³]				0.087		0.043		0.004
concurrence [mio kWh/an]				44.000		15.000		0.000
production cumulée [mio kWh/an]				70.8		98.2		100.4
concurrence cumulée [mio kWh/an]				44.000		59.000		59.000

Figure 31 Tableaux des calculs du potentiel de production électrique

Le Tableau 13 synthétise le potentiel de production électrique investissements maximums envisageables afin d'avoir un aménagement rentable. Le montant de ces investissements est beaucoup trop faible pour les coûts supplémentaires liés à une utilisation hydroélectrique du tronçon. Juste les coûts supplémentaires pour l'équipement électromécanique dimensionné par 30 m³/s ainsi que le génie civil pour ces aménagements sont supérieurs aux montants à disposition. Les surcoûts pour une conduite plus grande et adaptée aux niveaux de pression attendus représentent également à eux seuls des montants bien supérieurs au investissements supplémentaires possibles par rapport à la production électrique attendue.

Tableau 13 Potentiel de production électrique et investissements maximums envisageables pour rentabiliser l'aménagement.

nom nouveau palier	production						
	hauteur de chute (au repos / à pleine charge) [m]	débit équipé [m³/s]	Puissance max [kW]	volume turbiné annuel [mio m³/an]	volume moyen turbiné	potentiel de production annuelle [mio kWh/an]	concurrence aménagement [mio kWh/an]
Ecône	7.1 / 4.1	30	970	450	14.27	4.00	
Miéville	17.5 / 9	30	2109	600	19.03	11.70	
St-Maurice	43.9 / 40	30	9426	630.7	20.00	55.00	44
Vouvry	28.5 / 19.9	30	4691	630.7	20.00	27.40	15
Bouveret	4.5 / 1.6	30	381	630.7	20.00	2.20	
Total						100.30	59.00
nom nouveau palier	rentabilité						
	revenus avec dédommagement concurrence [CHF/an]	redevance [CHF/an]	coûts d'exploitation [CHF]	bénéfice sans amortisation [CHF/an]	investissements supplémentaires possibles avec amortisation [CHF]	investissements supplémentaires possibles avec amortisation / avec aide de 60% [CHF]	Investissements supplémentaires possibles avec règle triviale 1Mio CHF / 1 Mio kWh [CHF]
Ecône	240'000	109'327	66'364	64'310	1'211'104	3'027'761	4'000'000
Miéville	702'000	359'289	106'583	236'128	4'446'853	11'117'134	11'700'000
St-Maurice	660'000	286'464	265'668	107'868	2'031'404	5'078'509	11'000'000
Vouvry	744'000	185'973	173'569	384'458	7'240'260	18'100'649	12'400'000
Bouveret	132'000	97'116	37'529	-2'645	0	0	2'200'000

8.3 Variante 3 Internationale – 390 m³/seconde

8.3.1 Caractéristiques principales de la variante

Cette variante s’inspire en partie des réflexions menées dans le cadre de l’étude préliminaire du bureau Patrick Epiney ingénieurs Sàrl (2021). Après discussion avec le groupe d’accompagnement, cette variante a été étudiée afin d’avoir une meilleure idée des aspects techniques, financiers et environnementaux, bien qu’elle ne soit pas compatible avec les conditions définies par le cahier des charges et les contraintes légales. Cette variante permet de faire transiter des débits qui seraient à même d’assainir théoriquement les phénomènes d’écluse.

8.3.2 Détermination du tracé

La variante maximale récolte l’intégralité des eaux turbinées entre les centrales de Naters et de Miéville et transporte ce volume jusqu’au lac Léman (Figure 16) La capacité hydraulique de la conduite augmente avec le linéaire pour atteindre une capacité de près de 390 m³/s à St-Maurice.

Aménagement	débit max de l'aménagement [m³/s]	débits max dans la conduite [m³/s]	volumes hiver cumulés dans la conduite [mio m³]	volumes été cumulés dans la conduite [mio m³]	volumes annuels cumulés dans la conduite [mio m³]
BITSCH (Biel)	55	55	29.0	396.9	425.9
STALDEN + ACKERSAND 2	14	89	155.5	618.5	774.1
STEG	22	111	188.4	802.5	991.0
TURTMANN	3.9	114.9	204.1	831.8	1035.9
CHIPPIS (Navisence)	11.5	126.4	298.0	956.3	1254.3
ST-LEONARD	10.5	136.9	358.5	1004.0	1362.5
Bramois	13.9	150.8	406.7	1044.0	1450.7
CHANDOLINE	25	175.8	432.7	1067.2	1499.9
ARDON	7.5	183.3	446.1	1133.9	1580.0
BIEUDRON	75	258.3	792.6	1408.6	2201.2
NENDAZ	45	303.3	792.6	1408.6	2201.2
RIDDES (MAUVOISIN)	28.75	332.05	960.3	1538.8	2499.1
LA BATIAZ	17.4	367.05	1117.9	1665.5	2783.4
VERNAYAZ (CFF)	6.5	384.45	1191.2	1736.7	2927.9
MIEVILLE	35	390.95	1205.8	1760.6	2966.4

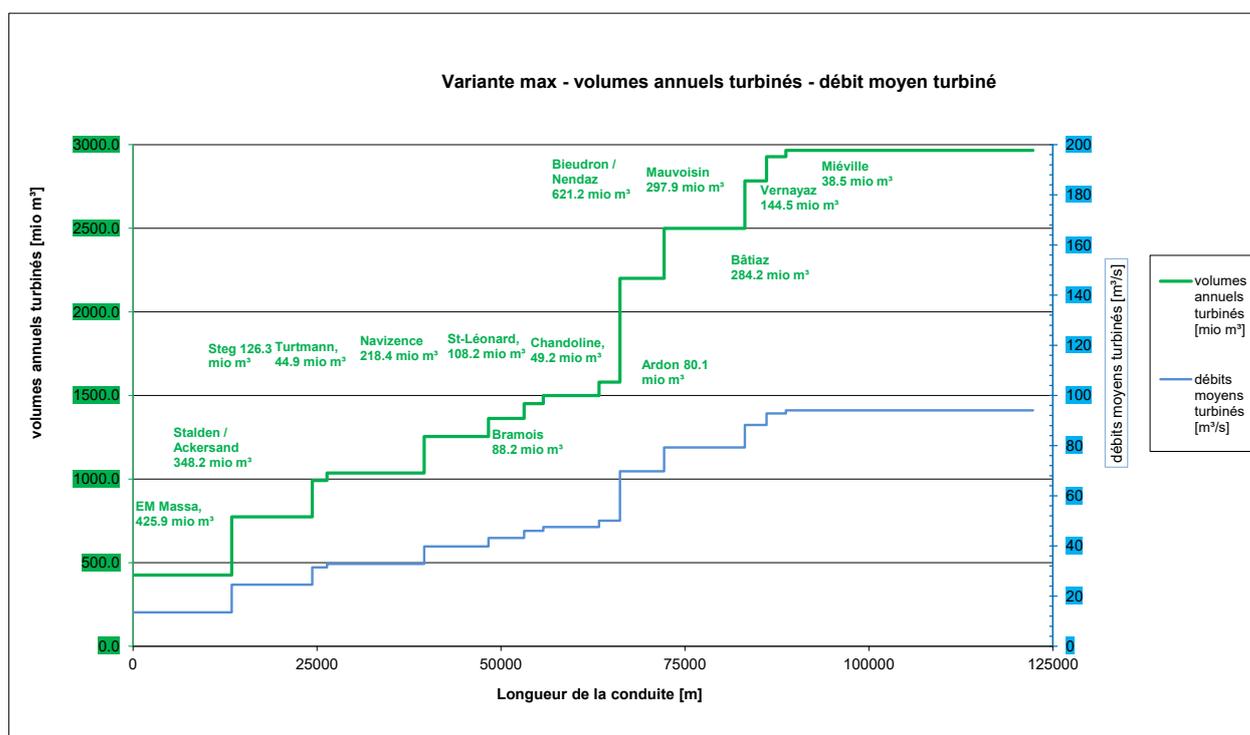


Figure 32 Débits maximaux et volumes annuels transitant dans la CEM pour la variante 3.

8.3.3 Dimensionnement et caractéristiques techniques

8.3.3.1 Dimensionnement hydraulique

Chaque tronçon a été délimité de façon à avoir des caractéristiques semblables par rapport au débit transporté, à la pente à disposition et au type de travaux pour la conduite.

Un prédimensionnement similaire à la variante 30 m³/s a été effectué pour chaque tronçon, de manière à garder une continuité dans le niveau d'énergie. La tâche est toutefois plus ardue pour cette conduite qui présente une augmentation constante de capacité. Afin de vérifier le prédimensionnement fait par tronçons, la totalité de la conduite principale a ensuite été modélisée à l'aide du programme HEC-RAS pour avoir une meilleure idée des courbes de remous et des différentes problématiques qui s'opèrent à la transition des tronçons et aux jonctions qui amènent l'eau des centrales. Le prédimensionnement de la conduite pour chaque tronçon (avec différentes hauteurs de remplissage) ainsi que certains résultats de la modélisation HEC-RAS sont disponibles dans les annexes 8 et 9.

8.3.3.2 Profil type, aspects constructifs et défis ponctuels

Les dimensions de la conduite augmentent rapidement le long du linéaire. Depuis le raccord des usines de la grande Dixence à Riddes, le canal présente une largeur de 18 à 25 m avec une hauteur d'eau variant entre 4 et 5 m. Avec de telles dimensions il est évident qu'une telle infrastructure ne peut être – pour la plupart des tronçons – que placée dans l'espace qu'occupent aujourd'hui les digues du Rhône. De ce fait, cette variante est incompatible avec le projet de Rhône 3 et contraire aux règles fixées par le cahier des charges.

A plusieurs reprises, des tronçons en galerie ont été privilégiés, car il n'y avait pas de place pour intégrer une conduite d'une telle dimension dans la plaine avec les infrastructures existantes ; c'est notamment le cas pour les tronçons entre la prise d'eau de Susten et Chippis, la traversée de Sion/Bramois, et pour le tronçon entre Miéville le défilé de St-Maurice. Au regard des difficultés liées à la traversée de Naters et au raccord des eaux turbinées de Stalden à la conduite principale, ces deux derniers tronçons ont également été prévus en partie de manière souterraine. D'un point de vue constructif, cette variante fait face aux mêmes défis que la variante à 30 m³/s mais ceux-ci sont exacerbés par les dimensions extrêmes de la conduite et des ouvrages spéciaux à prévoir⁶⁶. En assumant que des solutions techniques existent, il a été possible de chiffrer grossièrement les coûts du projet et d'évaluer la faisabilité financière d'une telle variante par rapport aux opportunités identifiées. Les principaux défis liés à la présence d'obstacles naturels (cours d'eau) ou d'infrastructures tiers sont listés dans un plan.

Au vu des largeurs nécessaires, le concept constructif d'un canal en béton a été adapté selon les largeurs nécessaires (Figure 33) :

- jusqu'à une largeur de 7 m, une dalle pleine de 30 cm a été retenue ;
- pour les canaux d'une largeur comprise entre 8 et 16 m, une dalle nervurée permettra d'économiser un certain volume de béton ;
- les poutres transversales peuvent être préfabriquées pour gagner du temps lors de l'exécution ; au-delà de 16 m, un compartimentage du canal en deux voire trois parties pour le dernier tronçon de 25 m de large a été considéré, également avec dalle nervurée.

⁶⁶ Chaque ouvrage spécial devrait notamment faire l'objet d'une étude de faisabilité qui prendrait en compte des informations géologiques ou géotechniques

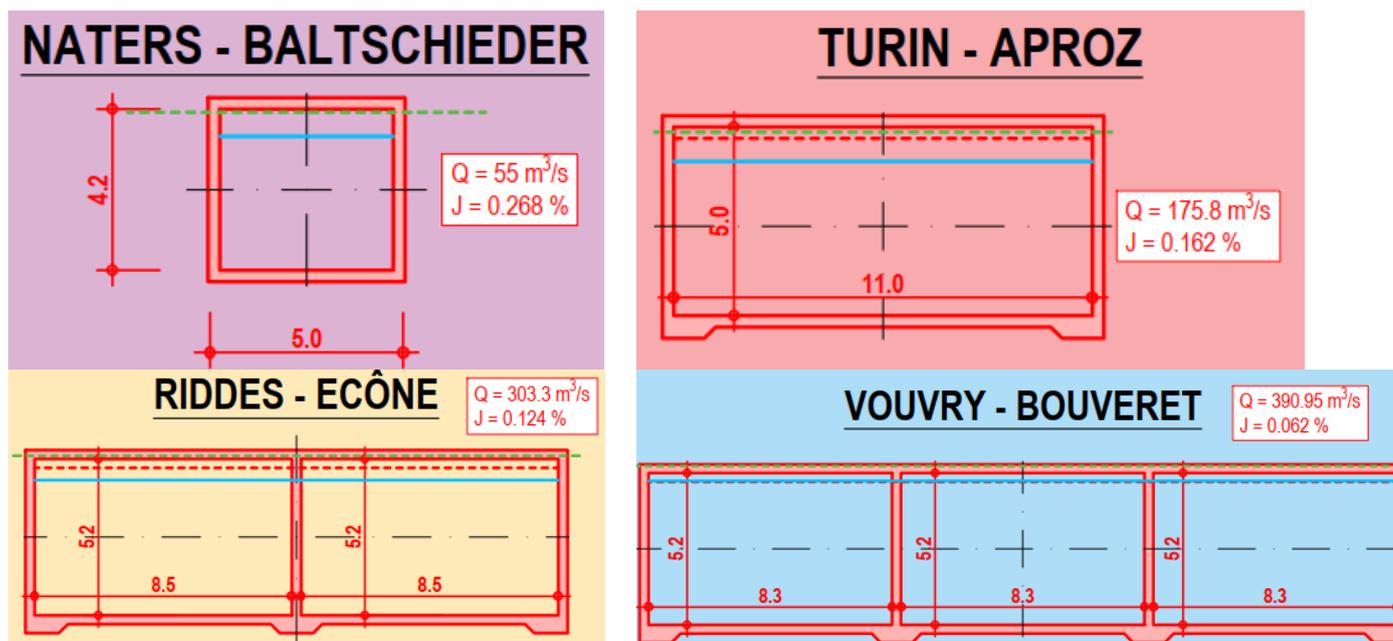


Figure 33 Concepts pour les canaux en béton en fonction de la largeur nécessaire pour faire transiter le débit de dimensionnement.

Le même concept de sécurité que pour la variante de 30 m³/s est à prévoir. Les risques engendrés par cette conduite qui se trouvent en partie hors du gabarit du Rhône sont énormes.

8.3.3.3 Concept des prises d'eau

Les captages sur les canaux de fuite existants doivent être réalisés de telle manière qu'en aucun cas la sécurité de l'aménagement hydroélectrique existant ne soit impacté. Au vu des prélèvements encore plus importants que pour la variante à 30 m³, il a été prévu notamment pour les centrales de Bieudron et de Nendaz de créer un deuxième canal de fuite séparé dans la direction opposée à l'existant depuis les fosses des turbines afin d'avoir la place nécessaire pour capter l'entier du débit. La réalisation de tels travaux nécessite la mise en arrêt de la centrale existante et une surveillance accrue des installations existantes (mesures d'ébranlements lors des travaux etc.).

8.3.4 Contraintes environnementales, territoriales et paysagères

On précisera :

- que la conduite traversera à deux reprises la ligne THT mais pas au droit d'un pylône ; elle franchira à trois reprises le gazoduc (et s'y superposerait sur un linéaire d'environ 9'200 mètres) et traversera une fois l'oléoduc puis s'y superposerait sur un linéaire d'environ 1'900 mètres ; en fonction de la largeur de fouille, le tracé pourrait éventuellement être décalé de manière à respecter la distance légale de cette installation ;
- que, d'un point de vue de la protection de la nature, cinq sites d'inventaires fédéraux seront touchés par le tracé, soit deux PPS à Baltschieder (VS3140006 (1'167 m²) et VS3140004 (1'115 m²), un site IFP à Rarogne (n° 1711 (10'062 m²)), un site de reproduction des batraciens d'importance nationale à Pouta Fontana (n° VS66 (26'490 m²) et une réserve d'oiseaux d'eau migrateurs d'importance fédérale aux Grangettes (n°8 (46'043 m²) ;
- la construction de cette variante se heurterait à plusieurs R&R planifiées par le SCRN : de manière directe, la mesure « Leukerfeldbach », qui prévoit la création d'une nouvelle rivière permanente reliant la Turtmänna au Gampinenkanal et laquelle serait alimentée par la dérivation d'un débit permanent variant de 200 à 1'500 l/seconde⁶⁷ ; de manière indirecte⁶⁸ et même si le tracé de cette variante a été implanté au droit de la route de la digue du Rhône, la mesure R&R « Pouta Fontana » géau (2022), qui vise à redynamiser la biodiversité de la réserve autour de trois axes majeurs : a) une séparation des eaux sablonneuses de la Rèche et des

⁶⁷ Ainsi que par la modification d'une prise de bisse existante en rive gauche de la Turtmänna (géau, 2014).

⁶⁸ Voir 5.4.1.

eaux phréatiques des canaux de plaine ; b) la création de casiers d'inondation à l'intérieur dans le cœur de la réserve permettant une régulation différenciée et dynamique de différents étangs par le biais de vannes qui seront installées dans les cloisons ; c) un entretien spécifique de la réserve par le pâturage par des buffles d'eau pour maintenir une pression forte sur la croissance végétale afin de recréer des conditions propices à la formation des différents milieux qui n'existent plus dans la plaine du Rhône.

- qu'au moins de 380'000 m² de surfaces forestières seraient théoriquement impactés ;
- qu'une superficie de 302'000 m² de surfaces d'assolement devrait être remise en état ;
- que la conduite traverserait 30 sites pollués, parmi lesquels trois nécessitent un assainissement dont deux à Monthey (D-6153-000-00 et D-6153-148-05 - Sites de stockage définitif) et un à Collombey-Muraz (E-6152.142.00 - aire d'exploitation des anciennes raffineries de TAMOIL)
- que d'un point de vue du patrimoine et du paysage naturels et bâtis, le tracé entrerait potentiellement en conflit – en plus des objets mis en évidence pour la variante 1 et 2 (8.1.5) – avec les objets VS11.1, VS12.1, VS13.1, VS15.2, VS16.3, VS17.2 et VS624. La variante 3 évite cependant les objets VS629 et VS958 qui sont touchés par les variantes 1 et 2 ;
- que le tracé est implanté sur une surface d'environ 23'800 m² en zone archéologique de protection ;
- que le tracé (V2 et V3) traversera le tracé de l'épine dorsale N1 du CAD entre SATOM SA et la STEP d'Aigle, à la hauteur d'Illarsaz ;
- que le tracé de la conduite devrait également être compatible avec l'éventuelle réalisation des mesures de la planification stratégique cantonale R-M2-020 (Grand canal de Chippis), R-M2-19 (Grand canal de la Rèche)⁶⁹, R-R3-11 (La Printse)⁶⁹, M1-008 (Rogneuse), M1-031 (C. des Iles) et M1-010 (St-Barthélémy), une importante coordination devrait être engagée au regard des mesures R-R3-13 (Laldnerkanal), R-M5-001 (Baltschiederbach), R-M5-006 (Galdi), R-M5-008 (Grosse Grabu), R-M2-17 (Grand canal de la Rèche), R-P-1 (Fare), R-R3-2 et R-M3-001 (C. du Syndicat), M1-013 (Salanfe), R-M1-010 (St-Barthélémy), R-M1-003 (Vièze) ainsi que R-M1-053 et R-M1-001 (C. Stockalper) ;
- que même si une légère décantation apparaîtra consécutivement aux élargissements projetés par R3, la turbidité du Rhône ne sera globalement pas modifiée par l'assainissement des éclusées (Alpiq et al. 2022) puisqu'elle est naturellement très élevée dans le Rhône en période estivale et, si elle est moyenne à mauvaise pour l'ensemble du Rhône en hiver, les éclusées n'en sont qu'en partie responsables ; par ailleurs, c'est en amont de la confluence avec la Vispa que l'état actuel en hiver est jugé excellent à bon, les éclusées en provenance de la centrale électrique de Bitsch étant rares et les éclusées en provenance du système Conches relativement petites et peu turbides. Enfin, si la turbidité hivernale est moyenne à mauvaise pour l'ensemble du Rhône (Alpiq et al. 2022) – avec une dégradation d'amont vers l'aval –, les éclusées n'en sont qu'en partie responsables (5.6.2) ; cette variante permettrait d'assainir les tronçons définis (pour l'instant) comme prioritaires sur la Vispa et la Borgne, où les MES limitent notamment fortement la diversité granulométrique des substrats et les conditions de vie piscicole ; la variante n'aura logiquement aucun impact sur le Wysswasser et le Lengtalwasser, où les atteintes ne sont pas considérées comme graves ;
- que les débits résiduels minimaux sur le Rhône et les différents affluents latéraux (6.2) devront être garantis et impliqueront que ces derniers soient précisément définis au droit de chaque prélèvement, sur la base des débits d'étiage Q_{347} naturels en tenant compte des différents prélèvements dans les bassins versants concernés et, idéalement, des tendances ou d'un planning de de turbinage ;

⁶⁹ Mesures de revitalisation déjà mise en œuvre

- qu'en tenant compte d'un traitement adéquat des eaux – notamment pour la turbidité et la bactériologie –, tous les besoins pour l'irrigation et la lutte contre le gel pourraient théoriquement être remplis, sous réserve que la température des eaux utilisées soit acceptée pour la lutte (0); sur le tronçon Bramois-Bramois Est et pour ne pas compromettre le(s) projet(s) d'améliorations structurelles⁷⁰ planifiés sur le **cône de Bramois** (géau, 2021a et b) et articulées autour de l'utilisation des eaux de la Borgne et du réseau de meunières⁷¹ dont celle de Bramois – qui est alimentée par les eaux de restitution des FMB à hauteur de 170 l/s hors période d'irrigation et jusqu'à 1.2 m³/s en période d'arrosage⁷² –, la restitution d'un débit permettant d'assurer les besoins d'irrigation et/ou de lutte contre le gel ainsi que le maintien d'un débit résiduel convenable (6.2) devra être assurée.

⁷⁰ Dans l'étude de faisabilité (géau, 2018), la variante retenue consistait à créer une multitude de petits réseaux alimentés depuis les meunières avec des pompes électriques permettant d'irriguer respectivement de lutter contre le gel sur une superficie de 215 hectares. Mais les coûts induits par l'utilisation de systèmes de filtration nécessitaient une centralisation des ouvrages. De plus, la conduite construite par SOGAVAL en 2020 (géau, 2020b) est désormais utilisée comme une colonne vertébrale distribuant de l'eau dans différentes mailles du réseau du périmètre de Préjeux. Dans un avant-projet actualisé (géau, 2021a), les éléments communs aux différents périmètres sont une ou des station(s) de pompage constituée(s) d'un bassin (8m³) et d'un local de pompage ; une station de filtration avec rétro lavage automatique par secteur (3 au total) ; un réseau de conduite maillé en PE-Pression ainsi que des sorties permettant de raccorder les rampes d'irrigation au réseau principal. En rive gauche, un dessableur est prévu sur la meunière de Champsec afin de diminuer la charge sédimentaire et les éléments grossiers qui pourraient endommager les pompes. En rive droite, une nouvelle meunière sera construite entre la M. de Bramois et la M. de Trapatron afin d'alimenter une station de pompage.

⁷¹ Qui fait l'objet d'un acte de concession entre des communes (Héremence, Mase, Nax, St-Martin, Vernamiège et Vex) et la société Forces Motrices de la Borgne SA (République cantonale du Valais, 2010), stipulant notamment que le concessionnaire est tenu de fournir l'eau d'irrigation à la commune de Sion.

⁷² Ainsi que par la Meunière de Champsec, qui est alimentée directement par une prise d'eau dans la Borgne à l'amont de l'usine hydroélectrique et présente un débit permanent de l'ordre de 800 l/seconde (selon les données transmises par M. A. Vuillaume (FMV - courriel du 23.05.18)) et la M. des Dailles, dont l'alimentation est assurée une prise d'eau dans la Borgne à la hauteur de l'hôpital de Sion mais qui ne fait, à notre connaissance, l'objet d'aucune concession, débite 100-150 l/s hors période d'irrigation et à 350-400 l/s en période d'irrigation (com. pers de M. Thierry Varone du 29.05.18).

Tableau 15 Synthèse des emprises				
Domaine	Emprise	Remarque(s)		
Zone d'affectation	Zone agricole	336'652		
	Zone artisanale	14'117		
	Zone industrielle	31'990		
	Zone d'habitat	19'336		
	Zone d'affectation différée	15'045	T2 - zones d'habitations (28 m ²) et zone mixte habitat (99 m ²) / T3 - zone d'habitation (409 m ²) et zone mixte habitat (1592 m ²) / T7 - zone d'habitation (4381 m ²) et zones mixtes (4837) / T12 - zone d'habitation / T15 - zone mixte habitat / T20 - zone d'habitation	
	Zones de construction et d'installations d'intérêt public (A, B, C)	24'677		
	Zone de protection du paysage superposée	972'366		
	Zone de protection de la nature superposée	450'283		
Zones de protection des eaux	S1	176		
	S2	15'949		
	S3	50'674		
	Sites pollués	pas d'atteinte	13'707	T3 - D-6199-217-00 / T7 - D-6248-004-00 et D-6248-007-00 / T15 - E-6139-057-00 / T20 - E-6153-182-00
		ne nécessitant ni surveillance ni assainissement	11'219	T2 - E-6286-010-00 et E-6286-020-00 / T3 - D-6196-000-00 et D-6198-216-00 / T7 - D-6248-619-00 / T8 - E-6266-985-00 / T12 - D-6266-809-00 Sion / T15 - D-6139-005-00 / T16 - D-6141-003-00 / T18 - D-6219-1211-00 / T21 - E-6154-011-00
investigations nécessaires		3'557	T16 - D-6136-017-00 et E-6136-610-00	
nécessitant une surveillance		15'214	T3 - E-6200-500-04, D-6200-222-00, D-6248-619-01/ T16 - D-6136-026-00 / T20 - E-6153-148-07, 600, D-6153-148-04	
nécessitant un assainissement		12'824	T20 - D-6153-148-05, E-6152-142-00 et D-6153-000-00	
Surfaces d'assolement	301'564			
Forêt	379'872	Estimation faite selon les constatations forestières définitives		
Emprise R3 (traversées)	1'860'859			
Inventaires fédéraux hors PAZ	174'876	T3 - PPS VS3140006 (1'167 m ²) et VS3140004 (1'115 m ²), IFP n° 1711 (10'062 m ²) / T8 - sites batraciens VS66 / T21 - réserve d'oiseaux d'eau n°8 (les Grangettes)		
Zones archéologiques de protection	23'793.00			
IVS	-	T2 - traverse VS 11.1, superposition à VS 12.1 500m' (7'300 m ²), VS 12.1 / T3 - VS 12.1 / T4 - VS 13.1/ T7 - VS 15.2 / T12- VS 968 / T15 - VS 16.3 / T16 - VS 624 / T3 - VS 12.1 / T4 - VS 13.1 / T7 - VS 15.2 / T12 - VS 968 / T15 - VS 16.3, VS635.1, VS 16.2 / T17 - VS 17.2 / T20 - VS 18.2, VS 17.1, VS710 / T21 - VS923 VS721		
ISOS	16'815	T3: 2 BC B, VI b b, VII a a et VIII a a		
Planification des revitalisations	29'440	T2 - R-R3-13, R-M5-001 / T3 - R-M5-006 / T4 - R-M5-008 / T7 - R-M2-019*, R-M2-020 / T8 - R-M2-017 / T12-R-R3-11* / T15-R-P-1 / T17-R-R3-2, R-M3-00, R-M1-015 / T18-R-M1-013 / T20-R-M1-030, R-M1-008, R-M1-003, R-M1-031 / T21-R-M1-053, R-M1-051 / R-M1-001		
THT	14'747	T8: THT Paujes / T12: THT Prabardi		
oléoduc gazoduc	-	T18: Traversée Mieville / T20 - superposition sur 1'887m'		

8.3.5 Adéquation de l'offre et de la demande

Pour cette variante, l'hypothèse de l'étude préliminaire « Assainissement des éclusées sur le Rhône et valorisation des eaux turbinées » réalisée par le bureau Patrick Epiney ingénieurs Sàrl (30.11.2021) et commandée par l'ADSA est reprise - sans en contrôler la plausibilité - que des investisseurs potentiels pourraient soutirer 30 m³/s en continu au Bouveret. Il est admis qu'en raison du nombre de centrales connectées à la conduite et qu'en raison de diverses modifications qui permettraient de faire du stockage ces besoins de 30 m³ pourraient être satisfaits sur toute l'année.

Les besoins recensés dans la variante 1 ne sont toutefois plus couverts par cette variante à écoulement libre. L'intérêt des utilisateurs potentiels de la variante 1 réside surtout dans la possibilité de soutirer de l'eau avec une pression de service intéressante, ce qui n'est pas le cas avec ce canal à écoulement libre pour la variante 2 et la variante 3.

8.3.6 Production électrique

Les mêmes calculs ont été faits que pour la variante à 30 m³/s et les résultats sont synthétisés ci-dessous. Ces graphiques sont également disponibles en grand format sur le plan synthétisant le tracé et les caractéristiques principales de cette variante à 390 m³/s.

Sans surprise, la même conclusion s'applique qu'à la variante 30 m³/s. Le potentiel de production électrique corrigé de la concurrence des aménagements existants ne permet pas de financer les équipements nécessaires à une utilisation hydroélectrique de la conduite multifonctionnelle. La plupart des tronçons devraient être agrandis et être prévus avec d'autres matériaux que du béton afin de résister aux pressions de service.

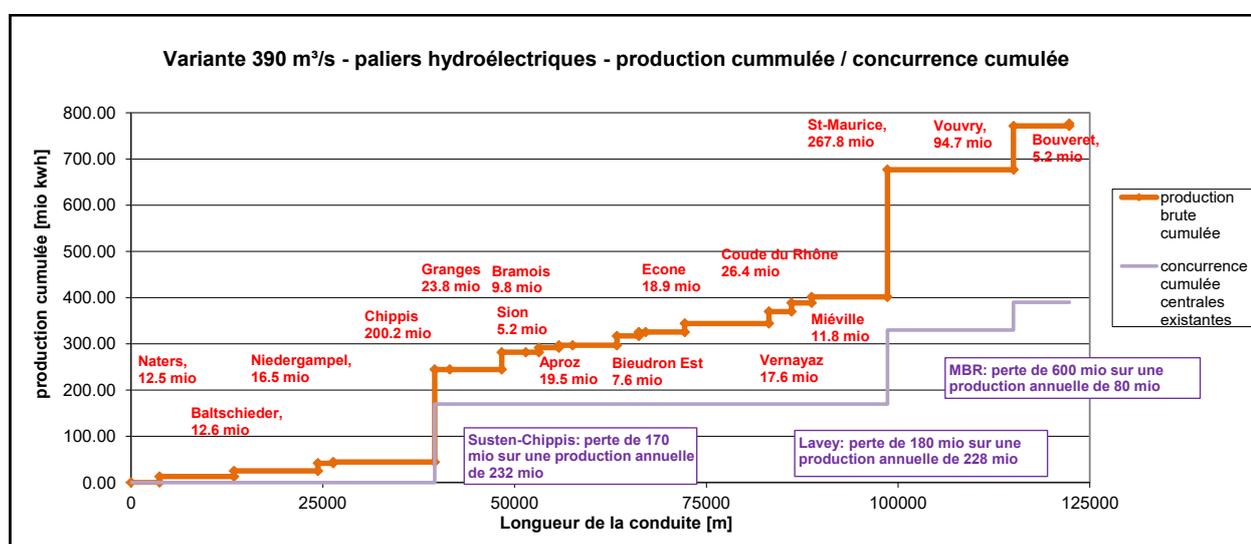
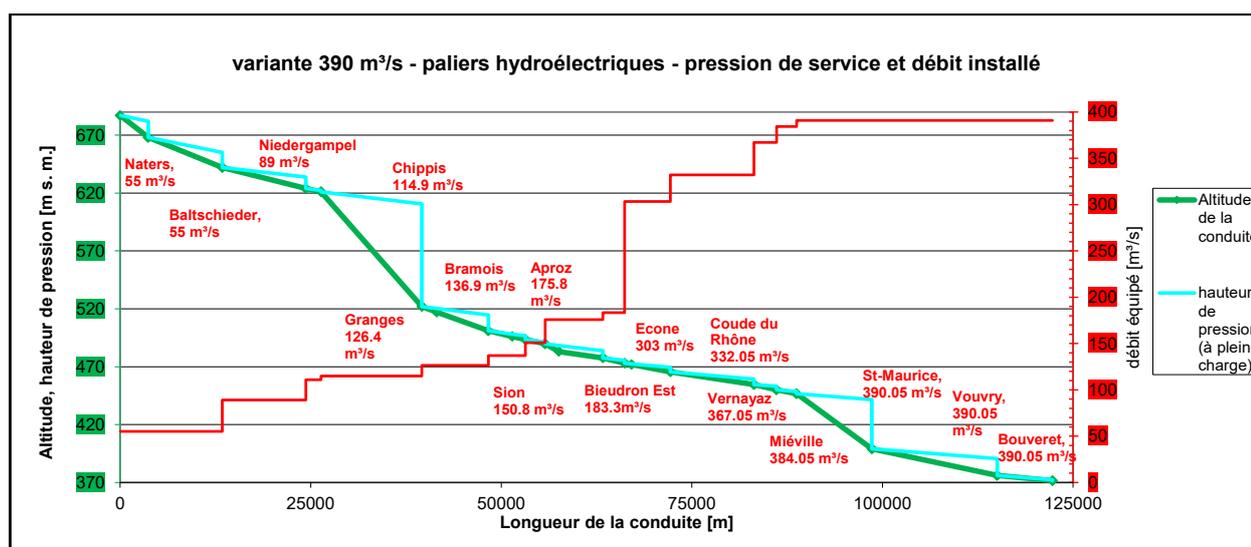


Figure 34 Paliers de production potentielle le long de la nouvelle conduite fonctionnelle (variante 3). En haut : pression de service, en bas potentiel cumulé de production et de concurrence aux centrales existantes

liste des centrales							
nom nouveau palier	production						
	hauteur de chute (à pleine charge / au repos [m])	débit équipé [m³/s]	Puissance max [kW]	volume turbiné annuel [mio m³]	volume turbiné moyen [m³/s]	potentiel de production annuelle [mio kWh/an]	concurrence aménagement [mio kWh/an]
Naters	19 / 14.07	55	6077	425.9	13.51	13.07	
Baltschieder	26 / 13.10	55	5654	425.9	13.51	12.16	
Niedergampel	18 / 9.78	89	6831	774.1	24.55	16.50	
Untergewting	3 / 1.28	111	1119	991	31.42	2.78	
Chippis	99 / 88.65	114.9	79940	1035.9	32.85	200.20	170
Grône	21 / 13.63	126.4	13516	1254.3	39.77	37.26	
Bramois	7.5 / 3.29	136.9	3527	1362.5	43.20	9.75	
Sion	3.8 / 1.66	150.8	1960	1450.7	46.00	5.24	
Aproz	12.1 / 6.16	175.8	8496	1499.9	47.56	20.13	
Bieudron Est	4.6 / 2.45	183.3	3526	1580	50.10	8.44	
Ecône	7.5 / 3.86	303.3	9191	2201.2	69.80	18.53	
Coude du Rhône	11 / 4.78	332.05	12454	2499.1	79.25	26.04	
Vernayaz	4.5 / 3.08	367.05	8870	2783.4	88.26	18.68	
Miéville	3.4 / 2.01	384.45	6066	2927.9	92.84	12.83	
St-Maurice	47.6 / 42.57	390.95	130621	2966.4	94.06	275.31	160
Vouvry	23 / 14.64	390.95	44918	2966.4	94.06	94.67	60
Bouveret	4.5 / 0.8	390.95	2457	2966.4	94.06	5.18	
Total					776.77	390.00	
nom nouveau palier	rentabilité						
	revenus avec dédommagement concurrence [CHF/an]	redevance [CHF/an]	coûts d'exploitation [CHF]	bénéfice sans amortisation [CHF/an]	investissements supplémentaires possibles avec amortisation [CHF]	investissements supplémentaires possibles avec amortisation / avec aide de 60% [CHF]	Investissements supplémentaires possibles avec règle triviale 1Mio CHF / 1 Mio kWh [CHF]
Naters	784'200	276'896	203'262	304'042	5'725'840	14'314'601	13'070'000
Baltschieder	729'742	378'910	194'513	156'318	2'943'851	7'359'627	12'162'361
Niedergampel	990'187	476'787	218'284	295'116	5'557'740	13'894'349	16'503'117
Untergewting	166'526	101'730	72'413	-7'618	0	0	2'775'429
Chippis	1'811'923	121'614	978'785	711'524	13'399'703	33'499'256	30'198'724
Grône	2'235'431	901'313	330'997	1'003'121	18'891'161	47'227'903	37'257'175
Bramois	585'016	349'666	145'850	89'501	1'685'517	4'213'794	9'750'271
Sion	314'300	188'632	101'933	23'735	446'981	1'117'452	5'238'335
Aproz	1'208'057	621'016	249'350	337'691	6'359'531	15'898'827	20'134'281
Bieudron Est	506'558	248'697	145'829	112'032	2'109'831	5'274'577	8'442'630
Ecône	1'111'743	564'906	261'610	285'227	5'371'506	13'428'765	18'529'046
Coude du Rhône	1'562'193	940'657	314'874	306'662	5'775'179	14'437'948	26'036'551
Vernayaz	1'121'076	428'591	256'001	436'485	8'220'051	20'550'127	18'684'608
Miéville	770'009	340'636	203'043	226'330	4'262'340	10'655'850	12'833'481
St-Maurice	6'918'427	2'225'563	1'320'587	3'372'277	63'508'039	158'770'098	115'307'113
Vouvry	2'080'329	814'053	688'611	577'665	10'878'809	27'197'023	34'672'144
Bouveret	310'701	456'770	116'986	-263'055	0	0	5'178'344

Figure 35 Tableau synthétique pour la production électrique et la rentabilité d'une utilisation hydroélectrique de la conduite multifonctionnelle. Les valeurs grisées pour la redevance ont été corrigées afin d'éviter que les volumes turbinés ne soit taxés deux fois.

Sans surprise, la même conclusion s'applique qu'à la variante 30 m³/s puisque le potentiel de production électrique corrigé de la concurrence des aménagements existants ne permet pas de financer les équipements nécessaires à une utilisation hydroélectrique de la conduite multifonctionnelle. La plupart des tronçons devraient être agrandis et être prévus avec d'autres matériaux que du béton afin de résister aux pressions de service.

Pour le potentiel aménagement du palier de St-Maurice, des investissements de l'ordre de 115 millions seraient envisageables. Pour mieux appréhender ce chiffre, le parallèle est fait avec le projet de MBR qui prévoit des coûts d'investissements d'environ 140 millions de francs pour une centrale au fil de l'eau équipée à 220 m³/s. Avec cet ordre de grandeur, il apparaît clairement qu'une nouvelle centrale plus puissante, qui nécessite une infrastructure bien plus conséquente qu'une centrale au fil de l'eau, représente des coûts d'investissements bien supérieurs aux 115 millions théoriquement disponibles.

La production annuelle estimée du projet MBR se monte à 80 millions de kWh. Le ratio entre les coûts d'investissement et la production attendu est plus bas que la règle triviale de 1 millions d'investissement pour 1 million de kWh de production utilisée dans cette étude de faisabilité. Mais le projet de MBR profitera toutefois de la rétribution RPC qui est plus généreuse que les aides actuelles d'aide à l'investissement.

9. Estimation des coûts

L'estimation des coûts a été faite à un niveau d'étude de faisabilité (+/- 25%) pour les trois variantes étudiées. La base des prix est du mois de juin 2023. Dans la mesure du possible, des prix unitaires de chantiers similaires et récents ont été utilisés pour le chiffrage. Pour chaque variante, une estimation des coûts a été faite par profil type. Les estimations des coûts pour les profils types s'appuient sur une ou deux coupes représentatives des tronçons. Les travaux ponctuels supplémentaires qui ne sont pas visibles dans un profil type (par exemple ouvrage spécial pour passage en siphon ou déplacement local d'une conduite tierce) sont également chiffrés de manière grossière par tronçons. L'annexe 10 de ce rapport présente les détails de l'estimation des coûts pour les trois variantes retenues.

En fonction des coûts d'investissements, une estimation grossière des coûts annuels a été effectuée. Ces coûts annuels comportent une partie qui concerne l'amortissement. L'amortissement représente la majeure partie des coûts annuels de la conduite et dès lors l'hypothèse des taux d'intérêt est prépondérante au final pour le coût au m³. Afin de mieux appréhender cette variabilité, les coûts au m³ ont également été déterminés avec un taux d'intérêt de 1.5 %, de 2.5 % et de 3.5 %. Les autres coûts annuels concernent l'entretien et l'exploitation de la conduite et les éventuels dédommagements liés à une éventuelle concurrence des aménagements hydroélectriques existants. En fonction de ces coûts annualisés et d'une estimation grossière des débits annuels utilisés, il est possible pour chaque variante d'estimer un coût de revient au m³ vendu à un potentiel utilisateur final. Ces coûts au m³ ne comprennent notamment pas les prestations suivantes qui devraient être prises en charge par chaque utilisateur, en fonction des besoins particuliers :

- raccord de la conduite multifonctionnelle jusqu'au lieu d'utilisation final (conduite et éventuellement station de pompage) ;
- traitements des eaux pour les besoins spécifiques de l'utilisateur.

9.1 Variante 1 Locale – 225 l/seconde

9.1.1 Coûts d'investissements

Les prix unitaires pour la fourniture et la pose des conduites ont été déterminés en grande par un chantier similaire récent (2022) effectué dans la région du Simplon. Pour l'assainissement d'une conduite d'amenée d'un aménagement hydro électrique, des prix unitaires ont été obtenus pour une conduite en PVR DN 700 mm, PN 10 ainsi que des prix pour une conduite en PE DE 800 mm, PN 6.3 ou PN 10. Les prix pour les travaux de fouille, du bassin de récolte et de la passerelle suspendue sur le Rhône s'appuient sur des chantiers similaires. Les investissements totaux estimés se montent à environ 22.4 millions de francs TTC (Figure 36).

estimation des coûts par tronçons			
nom du tronçon	type d'ouvrage	longueur tronçon [m]	coûts du tronçons [mio CHF]
a	conduite enterrée	2200	3.4
b	conduite enterrée	2200	4.3
c	pont suspendu ou forage dirigé	70	0.4
d	bassin	0	0.3
e	conduite enterrée	9980	14.0
Total			22.4

Figure 36 Estimation des coûts d'investissement par tronçons.

Ces coûts d'investissements ne comprennent pas les éventuels frais liés aux travaux suivants :

- éventuels travaux de rabattement de nappe ;
- éventuels travaux pour assainissement de sols pollués ;
- dédommagements pour perte de récoltes ou de valeur du terrain ;

- coûts d'achats de terrain ou de servitudes pour passage de la conduite, frais de géomètre ;
- investissements pour éventuelles mesures de compensation.

9.1.2 Coûts annuels et prix de vente par m³

Pour la détermination des coûts annuels d'amortissement, une durée d'amortissement de 80 ans a été admise pour la totalité des travaux. La conduite de la variante minimale se rapproche d'une conduite d'adduction d'eau potable qui ne demande relativement peu d'entretien et de contrôle. Les coûts ont été grossièrement estimés à 15'000.- par année (environ CHF 1.- / m linéaire)

Tableau 14 Effets de la variante sur les aménagements hydroélectriques au fil de l'eau existants.

Aménagement concurrencé	[Mio m ³ /an]	[Mio kWh/an]	[CHF/an]
Lavey	3.945	0.3945	23'670.-
Massongex	3.945	0.1381	8'284.50

Les coûts annuels et les prix de revient au m³ sont estimés ci-dessous (Tableau 15), avec 3 taux d'intérêts différents.

Tableau 15 Coûts et prix de revient.

coûts d'investissements totaux [CHF]	coûts annuels				volumes et prix de revient		
	amortissement [CHF/an]	entretien [CHF/an]	concurrence aménagement [CHF/a]	total [mio CHF/an]	ventes [m ³]	prix de revient [CHF/m ³]	
22'434'184.28	taux d'intérêt de 1.5 %, annuité 2.15 %	482'334.96	15'000.00	31'955.00	7'056'000	529'289.96	0.075
	taux d'intérêt de 2.5 %, annuité 2.9 %	650'591.34				697'546.34	0.099
	taux d'intérêt de 3.5 %, annuité 3.75 %	841'281.91				888'236.91	0.126

9.2 Variante 2 Régionale pour 30 m³/seconde

9.2.1 Coûts d'investissements

Les prix unitaires pour les travaux d'excavation et de construction du canal en béton s'appuient sur des chantiers similaires et récents de protection contre les crues dans le Haut-Valais à Viège (2021) et dans la vallée de Conches (2023). Pour les travaux d'excavation, il a été admis qu'il était possible de travailler avec des talus relativement raides (1 :1) et aucune mesure de soutènement des fouilles n'a été comptabilisée. De même, aucune mesure constructive pour une amélioration de la stabilité du canal en béton dans des terrains difficiles ou pour lutter contre la force d'Archimède en cas de canal vide dans des zones de nappes très hautes (par exemple à l'aide de micropieux) n'a été considérée. Il s'agit donc d'une estimation des coûts qui peut être qualifiée d'optimiste.

Concernant la gestion des matériaux excédentaires de plus de 1,1 millions de m³ non foisonnés, il a été admis que cette quantité peut être reprise par différentes décharges existantes.

Les estimations pour certains ouvrages spéciaux comme les passages en siphon sous des affluents latéraux ou les prises sur les canaux de fuites existants sont beaucoup plus grossières, car chaque ouvrage spécial devrait faire l'objet d'une pré-étude plus détaillée afin de mieux appréhender les travaux nécessaires. Les coûts estimés sont à considérer comme ordre de grandeur pour ces travaux.

Les investissements totaux estimés se montent à environ 638 millions de francs (Figure 37).

variante 30 m³/s liste des coûts et des matériaux excédentaires par tronçons						
nom du tronçon	type d'ouvrage	débit max [m³/s]	longueur tronçon [m]	dimensions [m] : canal [L x H]	coûts du tronçons [mio CHF]	volumes matériaux excédentaires (non foisonnés) [mio m³]
Sortie Bieudron - Ecône	canal enterré	30	5710	4.5 x 3.4	67.141	0.116
Ecône - Coude du Rhône	canal enterré	30	10970	4.5 x 3.4	119.770	0.224
Coude du Rhône - Vernayaz	canal enterré	30	2630	4.5 x 3.4	35.846	0.054
Vernayaz - Embouchure Salanfe	canal enterré	30	2760	4.5 x 3.4	30.982	0.056
raccord Salanfe - embouchure salanfe	canal enterré	6	1400	3 x 1.8	9.365	0.012
Embouchure Salanfe - Prise Lavey	canal enterré	30	3130	5 x 3.5	37.542	0.072
raccord Aboyeu - Lavey	passerelle / forage dirigé	0.45	90	DN 500 mm	0.500	0.000
Prise Lavey - St Barthélémy	canal enterré	30	1450	4 x 2.8	13.986	0.023
St-Bathélémy - Sortie d'autoroute	canal enterré	30	1430	4 x 2.8	14.381	0.022
Sortie d'autoroute - Château	canal enterré	30	2790	4.5 x 3	28.969	0.051
Pont du Château	Pont	30	60	4.5 x 3	7.500	0.000
Pont du Château - Vouvry	canal enterré	30	16430	4.5 x 3.2	182.150	0.308
Vouvry - Bouveret	canal enterré	30	7270	5.5 x 3.3	90.239	0.173
Total					638.37	1.11

Figure 37 Estimation des coûts d'investissement par tronçons.

Ces coûts d'investissements ne comprennent pas les éventuels frais liés aux travaux suivants :

- éventuels travaux de rabattement de nappe ;
- éventuels travaux pour assainissement de sols pollués ;
- dédommagements pour perte de récoltes ou de valeur du terrain ;
- coûts d'achats de terrain ou de servitudes pour passage de la conduite, frais de géomètre ;
- investissements pour éventuelles mesures de compensation ;
- pertes d'exploitation des centrales existantes lors de la phase de chantier (raccords aux canaux de fuite existant).

9.2.2 Coûts annuels et prix de vente par m³

Les coûts annuels sont estimés ci-dessous (Tableau 16). Les ventes s'appuient donc sur l'hypothèse que des investisseurs seraient prêts à prendre l'intégralité des débits transportés par la conduite dimensionnée pour une capacité maximale de 30 m³/s. L'estimation grossière des volumes transportés par cette conduite se monte à 630 millions de m³ par année.

Tableau 16 Coûts et prix de revient.

coûts d'investissements totaux [mio]	coûts annuels				volumes et prix de revient		
	amortissement [mio CHF/an]	entretien [mio CHF/an]	concurrence aménagement [mio CHF/a]	total [mio CHF/an]	ventes [mio m³]	prix de revient [CHF/m³]	
638.4	taux d'intérêt de 1.5 %, annuité 2.15 %	13.73	5.00	3.54	22.27	630	0.035
	taux d'intérêt de 2.5 %, annuité 2.9 %	18.51			27.05		0.043
	taux d'intérêt de 3.5 %, annuité 3.75 %	23.94			32.48		0.052

L'estimation des coûts d'entretien est difficile à estimer pour un tel ouvrage, car il n'y a pas vraiment de comparaison avec des ouvrages existants. En raison des mesures d'automation et de surveillance préconisée, ainsi que les différentes vannes prévues au départ des aménagements un coût de 5 millions a été admis. Ce montant n'influence pas énormément les prix de revient, qui sont clairement déterminés par les montants d'amortissement annuels.

9.3 Variante 3 Internationale– 390 m³/seconde

9.3.1 Coûts d'investissements

Les prix unitaires pour les travaux souterrains ont été déterminés en partie par un chantier similaire récent (2022) effectué dans la région du Simplon et le chantier de l'aménagement de Rhône Oberwald (2016).

Au Simplon, une chambre d'équilibre existante a été agrandie et pour cela une nouvelle galerie d'accès a été exécutée à l'explosif. Pour l'aménagement de Rhône Oberwald, la galerie principale sous pression a été exécutée avec un tunnelier, mais plusieurs galeries ou cavernes secondaires ont été faites à l'explosif. L'estimation des coûts pour les travaux souterrains ne prend pas en compte

des éventuelles difficultés géologiques.

Il a été admis et calculé qu'une protection avec du béton projeté et des treillis était suffisante pour la totalité des tronçons, quelque soient les profils. Pour les travaux de construction des canaux en béton enterrés à proximité de la digue, la même base de prix que pour la variante de 30 m³/s a été prise. Les mêmes hypothèses optimistes par rapport à l'absence de mesures de soutènement de fouilles ou de construction de micropieux en terrains instables ou pour lutter contre la force d'Archimède en zone de hautes nappes phréatiques ont été retenues que dans la variante à 30 m³/s. Il est également admis que les 8.2 millions de m³ de matériaux excédentaires non foisonnés seront évacués dans des décharges existantes.

Cette variante présente des ouvrages spéciaux extrêmement complexes (traversée sous l'autoroute ou sous les voies CFF, passages en siphon sous le Rhône pour des canaux de grande dimensions, raccords en sous-œuvre à des fosses de turbine dans des centrales souterraines). Les travaux nécessaires à ces ouvrages complexes ne sont pas appréhendés dans le cadre de cette variante d'étude de faisabilité. Les coûts estimés sont à considérer comme ordre de grandeur pour ces travaux. Les investissements totaux estimés se montent à environ 4 milliards (Figure 38).

variante 390 m ³ /s liste des coûts et des matériaux excédentaires par tronçons						
nom du tronçon	type d'ouvrage	débit max [m ³ /s]	longueur tronçon [m]	dimensions [m] : canal [L x H] galerie: (L x (H / Hcalotte))	coûts du tronçons [mio CHF]	volumes matériaux excédentaires (non foisonnés) [mio m ³]
Massa - Naters	galerie	55	3700	4 x (3.7 / 5.7)	62.069	0.086
Naters-Baltschieder	canal enterré	55	9700	4.5 x 4.2	129.539	0.237
Baltschieder - Niedergampel	canal enterré	89	10960	7 x 4.5	179.634	0.425
Niedergampel - Untergetwing	canal enterré	111	2000	8 x 4.8	36.906	0.078
Untergetwing - Chippis	galerie	114.9	13220	6 x (2.7/4.7)	337.973	0.425
Chippis - Chalais	galerie	126.4	1970	8 x (3.7/5.7)	57.528	0.079
Chalais - Grône	canal	126.4	6760	8 x 4.7	115.847	0.262
Grône - Bramois Est	canal	136.9	3140	10 x 4.6	63.715	0.173
Bramois Est - Bramois	galerie	136.9	1700	10 x (4/6)	62.169	0.090
Bramois - Sion	galerie	150.8	2600	10 x (4/6)	95.083	0.137
Sion - Turin	galerie	175.8	1800	11 x (4.2/6.2)	74.281	0.109
Turin - Aproz	canal	175.8	5780	11 x 5	137.526	0.375
Aproz - Bieudron Est	canal	183.3	2850	11 x 5	68.437	0.185
Bieudron Est - Riddes	galerie	303.3	900	16 x (4.65/6.65)	61.901	0.093
Riddes - Ecône	canal	303.3	5100	17 x 5.2	157.295	0.331
Ecône - Coude du Rhône	canal	332.05	10970	19 x 5.2	349.189	0.658
Coude du Rhône - Vernayaz	canal	367.05	2950	19 x 5.2	110.379	0.251
Vernayaz - Miéville	canal	384.45	2630	20 x 5.2	119.659	0.309
Miéville - St-Maurice	galerie	390.95	9880	14 x (4/6)	545.467	0.787
St-Maurice - Vouvy	canal	390.95	16430	20 x 5.2	648.565	1.932
Vouvy - Bouveret	canal	390.95	7270	25 x 5.2	344.395	0.981
différents raccords entre les centrales existantes et la conduite principale					250.000	0.182
Total					4007.56	8.19

Figure 38 Estimation des coûts d'investissement par tronçons.

9.3.2 Coûts annuels et prix de vente par m³

Les coûts annuels sont estimés ci-dessous (Tableau 17). Les mêmes réflexions sont faites que pour la variante à 30 m³/s. Les ventes de 946 millions de m³ par année reprennent l'estimation du potentiel de vente mentionné dans l'étude préliminaire.

Tableau 17 Coût et prix de revient.

coûts d'investissements totaux [mio]	coûts annuels				volumes et prix de revient		
	amortissement [mio CHF/an]	entretien [mio CHF/an]	concurrence aménagement [mio CHF/a]	total [mio CHF/an]	volumes transportés	ventes [mio m ³]	prix de revient [CHF/m ³]
4007.6	taux d'intérêt de 1.5 %, annuité 2.15 %	86.16	12.00	23.40	2'966.40	946	0.129
	taux d'intérêt de 2.5 %, annuité 2.9 %	116.22					0.160
	taux d'intérêt de 3.5 %, annuité 3.75 %	150.28					0.196

10. Conclusions et proposition de marche à suivre

10.1 Variante 1 Locale

Par rapport aux besoins et à l'offre à disposition, deux tronçons intéressants présentent un potentiel suffisant pour envisager la pose d'une conduite multifonctionnelle, qui offrirait une pression de service intéressante aux utilisateurs sur une distance relativement courte, tout en profitant des synergies potentielles avec les grands projets.

Ces tronçons concernent surtout des besoins relativement constants des industries et des collectivités publiques pour une potabilisation de l'eau. D'après les différentes réflexions menées par rapport à l'eau potable, il serait pertinent de poser dans la même fouille une conduite dédiée uniquement à l'eau potable. Les coûts et détails de cette conduite n'ont pas été chiffrés dans cette étude qui se concentre sur la conduite multifonctionnelle.

Les défis liés à la gestion de la ressource de l'eau sont d'actualité. Cette étude amène sa pierre à l'édifice très ambitieux d'une gestion coordonnée de cette ressource à l'échelle du bassin versant du Valais. Cette étude de faisabilité n'a pas la prétention d'avoir recensé l'entier des besoins et des intérêts potentiels pour cette conduite, mais en fournissant un rapport technique et des plans à divers acteurs liés à l'eau en Valais, il est possible que de nouvelles idées d'utilisation ou d'optimisation du projet surgissent et augmentent ainsi ses chances de réalisation.

Il est important de mentionner ici qu'aucun contact n'a encore été pris avec les producteurs d'électricité directement concernés par ce projet. Du moment que les prises d'eau sur les canaux de fuite n'impactent pas la sécurité et l'exploitation des aménagements et du moment que les pertes de production sur les aménagements existants au fil du Rhône sont compensées au juste prix, il semble raisonnable de penser qu'un terrain d'entente pourra être trouvé avec les différents producteurs.

10.2 Variante 2 Régionale 30 m³/seconde

La variante axée sur la vente d'eau à l'étranger peut être utilisée à titre indicatif pour des éventuels promoteurs intéressés, en insistant toutefois que cette variante n'est, en plusieurs endroits, pas compatible avec le projet de R3. Cette variante chiffre très grossièrement le prix de revient au m³ au Bouveret d'eau brute sans pression, juste avant son rejet dans le lac Léman. En raison des longues distances potentielles jusqu'aux utilisateurs finaux, il semble globalement plus économique de potabiliser l'eau quasiment sur le lieu de l'utilisation et non dans une usine située au Bouveret.

Le cahier des charges de cette étude de faisabilité ne contient aucune prestations liées aux potentialités de vente d'un débit de 30 m³/s. Le cas échéant, d'autres réflexions par rapport à d'éventuels transferts d'eau entre bassins versants devraient être coordonnées d'un point de vue international, plusieurs paliers de production hydroélectrique étant potentiellement impactés par un transfert des eaux dans d'autres bassins versants à l'aval de Genève.

Sans une gestion coordonnée des différents aménagements hydroélectriques, les débits transitant dans cette conduite seront très variables et des périodes avec très faibles débits sont probables. La capacité de stockage de la conduite avec un dimensionnement de 30m³/s est au maximum d'environ 1 million de m³ (ordre de grandeur d'une demi-journée en cas de consommation de 18 m³/s). Ce volume est insuffisant et ne peut être exploité sans différentes mesures constructives (délimitation de tronçons avec écluses) pour éviter que le canal en béton ne soit soumis à une pression non admissible.

Ces limitations de débit sont des éléments qui influencent négativement le potentiel prix d'achat de cette ressource.

10.3 Variante 3 Internationale

Il n'y a presque pas d'opportunités liées à un dimensionnement maximal de la conduite multifonctionnelle :

- les réflexions actuellement menées pour l'assainissement éclusées indiquent une revue à la baisse des objectifs et montrent que les mesures techniques retenues sont disproportionnées et ne seront pas exigées ;
- le dimensionnement maximal de la conduite ne permet pas de produire de l'électricité de manière rentable, malgré un potentiel net supplémentaire d'environ 390 millions de kWh par année ;
- cette conduite qui récolte uniquement les eaux turbinées ne réduira pas le risque hydrologique lié au Rhône ; de ce fait, un effet sécuritaire ou des économies liées à des investissements qui n'auraient plus lieu d'être par rapport au projet de la correction du Rhône ne peuvent pas être comptabilisés dans la balance monétaire du projet.

Au vu du manque d'opportunités, des coûts d'investissements, des conflits engendrés et aux différentes difficultés techniques énumérées et pas forcément résolues dans cette étude de faisabilité cette variante n'est pas raisonnable par rapport aux coûts d'investissements engendrés, même en tenant compte d'une éventuelle vente d'eau brute au Bouveret.

10.4 Marche à suivre

Sur la base des résultats et données issus de l'étude, les démarches suivantes peuvent être préconisées :

- un renforcement des coordinations avec les projets d'envergure que sont notamment l'A9 et R3 pour les tronçons mis en évidence dans le cadre de l'étude de faisabilité ;
- une amélioration des échanges avec les communes intéressées pour définir à l'échelle intercommunale la mise en œuvre de réseaux interconnectés ;
- un renforcement des échanges avec les industries valaisannes en regard des besoins et des perspectives liées à la valorisation des eaux turbinées ;
- une anticipation des enjeux liés aux zones industrielles et à l'aménagement du territoire au regard des ressources en eau disponibles ;
- la recherche de potentiels partenaires intéressés par l'acquisition et la valorisation des eaux turbinées à une échelle intercantonale voire internationale ;
- une sensibilisation des services cantonaux et des délégués cantonaux concernés, en termes de possibilités d'alimentation des systèmes d'irrigation agricole par les eaux issues du turbinage sont à analyser au niveau du Service de l'agriculture.

Au regard de ce qui précède, les variantes 1 et 2 devraient être poursuivies au niveau de la Stratégie Eau du canton du Valais. Les premiers retours donnés par les entreprises valaisannes démontrent la nécessité de pro action du Canton vis-à-vis de la ressource eau d'une part mais aussi de la nécessité d'avoir une vision d'ensemble des infrastructures à l'échelle du Canton.

11. Références

11.1 Etudes préliminaires

Géotechnique Appliquée Dériaz SA (GADZ) (2005). *Valorisation des eaux de turbinage comme eau potable. Etude de la qualité et des quantités d'eau disponibles. Rapport 5299/1*, Direction du développement économique de l'Etat du Valais, 31 p.

Patrick Epiney Ingénieurs Sàrl (2021). *Assainissement des éclusées sur le Rhône. Valorisation des eaux turbinées. Variante Aqueduc. Etude préliminaire. Rapport technique*, Association pour la défense du sol agricole (ADSA), 15 p.

SunAlpes Group (2006). *Projet « Valorisation des eaux de turbinage comme eau potable ». Mandat d'étude économique de marché et de positionnement stratégique (composante 2)*, Direction du développement économique du canton du Valais (DEVS), 103 p.

11.2 Pisciculture et repeuplement

Arrignon J. (1998). *Aménagement piscicole des eaux douces*. 5^{ème} édition, Lavoisier Tec & Doc, 589 p.

Crettenand Y. (2007). *Concept de sauvegarde et de développement de la population de truites lacustres *Salmo trutta lacustris* en Valais*, Service de la chasse, de la pêche et de la faune du canton du Valais, 5 p. (non publié)

géau environnements SA (2014a). *Autoroute du Rhône A9 section Sierre-Gampel : mesures de reconstitution et de remplacement. Leukerfeldbach (P2)*, OCRN, 12 p.

géau environnements SA (2014b). *Autoroute du Rhône A9 section Sierre-Gampel : mesures de reconstitution et de remplacement Fühla (P1.4) – Sites alternatifs de production salmonicole*, OCRN, 18 p.

géau environnements SA (2014c). *Autoroute du Rhône A9 section Sierre-Gampel : mesures de reconstitution et de remplacement Russubrunnu (P3)*, OCRN, 36 p.

géau environnements SA (2017a). *Renouvellement de concession de l'aménagement Chippis-Rhône. Pisciculture de remplacement - orientations stratégiques et analyse de faisabilité*, FMV, 21 p.

géau environnements SA (2020a). *Autoroute du Rhône A9 section Sierre-Gampel – mesures de reconstitution et de remplacement. Aménagement de la pisciculture de la section F.C.V.P.A. du district de Leuk (M10034 SL Pisciculture Leuk). Avant-projet détaillé - rapport technique*, OCRN, 18 p.

Morin R. (2012). *Qualité de l'eau requise pour l'élevage des salmonidés. Document d'information DADD 14*, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, 25 p.

SCPF (2017). *Rapport final - plan de repeuplement piscicole 2017-2021*, 23 p.

11.3 Lutte contre les incendies

Bina Engineering AG SA et Ryser Daniele (2014). *Konzept Waldbrandvorsorgekonzept Pfyn. Bericht*, DWL – Kreis Oberwallis, 104 p.

Service des forêts et du paysage et service de la sécurité civile et militaire (2009). *Concept cantonal de protection contre les incendies de forêt*, Sion, 45 p.

11.4 Agriculture et irrigation, recharge de nappe

11.4.1 Etudes de projet

géau environnements SA (2017b). *Améliorations structurelles du Grand Blettay – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Rapport technique (hydrologie et hydraulique)*, commune de Fully et SCA-OAS, 18 p. et cartes annexées

géau environnements SA (2017c). *Améliorations structurelles du Grand Blettay – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Notice d'impact sur l'environnement*, commune de Fully et SCA-OAS, 18 p.

géau environnements SA (2018a). *Améliorations structurelles du Cône de Bramois – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Rapport technique (hydrologie et hydraulique)*, commune de Sion et office des

améliorations structurelles du service cantonal de l'agriculture, 35 p. et annexes.

géo environnements SA (2018b). *Améliorations structurelles du Cône de Bramois – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Etude de faisabilité - rapport technique (hydrologie et hydraulique)*, commune de Saillon, 35 p. et cartes annexées

géo environnements SA (2018c). *Améliorations structurelles du cône de la Salentse (secteur A) – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Etude de faisabilité - rapport technique (hydrologie et hydraulique)*, commune de Saillon, 12 p. et cartes annexées

géo environnements SA (2018d). *Améliorations structurelles au Nord du Grand Blettay – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Rapport technique (hydrologie et hydraulique)*, commune de Fully, 13 p. et cartes annexées

géo environnements SA (2018e). *Améliorations structurelles de Châtroz – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Rapport technique (hydrologie et hydraulique)*, commune de Sion.

géo environnements SA (2020b). *Thermoréseau UTO - Hôpital de Sion - pose d'une conduite pour la lutte contre le gel sur le cône de Bramois. Note technique*, SOGAVAL – Société du gaz du Valais SA, 15 p. et annexes

géo environnements SA (2021a). *Améliorations structurelles du Cône de Bramois (périmètre réduit – 53 ha) – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Avant-projet - rapport technique*, commune de Sion et office des améliorations structurelles du service cantonal de l'agriculture, 35 p. et annexes.

géo environnements SA (2021b). *Améliorations structurelles du Cône de Bramois (périmètre réduit – 53 ha) – système d'irrigation et de lutte contre le gel. Avant-projet – notice d'impact sur l'environnement*, commune de Sion et office des améliorations structurelles du service cantonal de l'agriculture, 37 p. et annexes

11.4.2 Etudes et recommandations générales

Agroscope Changins-Wädenswil ACW (2010). *Irrigation des arbres fruitiers*, 27 p.

Allen R.G. et al (1998). *Les besoins en eau des cultures*, Traité d'irrigation, Paris, 148 – 249 p.

Aschwanden H. et Weingartner R. (1986). *Die Ablussregimes der Schweiz*, Geologie des Schweiz-Hydrologie, n° 33.

BHP – Hanser und Partner AG (2013). « *Stratégie eau* » du canton du Valais. *Défis, objectifs, lignes directrices et mesures. Rapport final du « comité de pilotage Eau Valais » à l'attention du Conseil d'Etat*, Sion, 62 p.

Chossat J.-C. et Sagnac A.-M. (1985). Relation entre conductivité hydraulique et porosité de drainage mesurées par la méthode du puits et des piézomètres, *Sciences du sol* **3**, pp. 151-167.

Clément R. et al. (2005). *Systèmes d'irrigation – C 5 250*, Techniques de l'ingénieur, 47 p.

Couture, I. (2006). Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. In *Colloque sur l'irrigation, L'eau, Source de Qualité et de Rendement*, 13 p.

CREALP (2018). *Monitoring des eaux souterraines*. Disponible à l'adresse <https://www.crealp.ch/fr/> (consulté le 12.12.2018).

Département de la mobilité, du territoire et de l'environnement (DMTE) (2018). *Bilan d'épuration des eaux usées en Valais. Année 2017*, Section protection des eaux, Sion, 96 p.

Du, X., Fang, Y., Wang, Z., Hou, J., & Ye, X. (2014). The Prediction Methods for Potential Suspended Solids Clogging Types during Managed Aquifer Recharge. *Water* **6(4)**, 961–975.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56*, Rome.

FAO – Organisation des nations unie pour l'alimentation et l'agriculture (1994). *Les machines élévatoires. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage* **43**.

FAO – Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (2008). *Manuel des techniques d'irrigation sous pression, seconde édition*, Rome, 308 p.

Ferguson, B. (1994). *Stormwater infiltration*. Lewis Publishers, CRC Press, 288 p.

- Fernández Escalante E. et al. (2022). Monitored and Intentional Recharge (MIR) : A Model for Managed Aquifer Recharge (MAR) Guideline and Regulation Formulation. *Water* **14**(21), 3405.
- Fisher, P. (2006). *Irrigation des fraisières pour les protéger contre le gel – techniques efficaces*. Consulté le 14.12.18 sur http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/frosprot_straw.htm
- Glenz D., Renard P., Brunner P., Perrochet P., Rovina H., Vogel A. (2015). Caractérisation de l'aquifère superficiel de la plaine du Rhône entre Sierre et Evionnaz (Suisse). In E. Reynard et al. : Le Rhône, entre nature et société, *Cahiers de Vallesia* **29**, pp. 109-128.
- Hendawi, M. (2006). *Etudes des pertes d'eau par évaporation et dérive sur un jet d'asperseur*. France : Université de la Méditerranée, Aix-Marseille II. 225 p.
- Mayer, 2006). Sicherung der Langlebigkeit von Tropfbewässerungssystemen.
- Mosler T. (1998). Wasserqualität und Wasserfilter für Tropfbewässerungsanlagen. Rheinische *Monatsschrift* **2/1998**
- Nicollier J. (1958). Les gelées de printemps dans le Valais central et leur apparition en 1957, *Almanach du Valais* **1958**, 54-68,
- Okubo T., Matsumoto J. (1983). Biological clogging of sand and changes of organic constituents during artificial recharge. *Water Res.* **1983**, 17, 813–821.
- OMS – Organisation mondiale de la santé (2013). *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*.
- Pavelic, P., Dillon P.J., Barry K.E., Herczeg A.L., Rattray K.J., Hekmeijer P. Gerges, N.Z. (1998). Well clogging effects determined from mass balances and hydraulic response at a stormwater ASR site. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on the Artificial Recharge of Ground Water*, Amsterdam, Netherlands, 21–25 September 1998, pp. 61–66.
- Perraudin G. (1961). *Etude de différents moyens de lutte contre le gel*, Doctoral Thesis, ETHZ, 229 p.
- Perraudin G. (1975). La lutte contre le gel, *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture* vol. **7**, Station fédérale de recherches agronomiques de Changins et Service romand de vulgarisation agricole, 60 p.
- Pyne, R.D.G. (1995) *Groundwater Recharge and Wells: A Guide to Aquifer Storage Recovery*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL
- Rey J.-M. (2012). Une eau précieuse : la nappe phréatique, *Météo Magazine* **10**, édition METEORISK, Sion, 32-41.
- Schindler, A. (2006). *Etudes des relations nappe-rivière*. Bassin Rhône-Méditerranée. France : Université de Lyon.
- Schürch M. (2000). *Détermination des paramètres hydrauliques et hydrochimiques d'un aquifère alluvial dans une vallée alpine (Valais, Suisse)*, thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, 241 p.
- Service de l'agriculture – Office d'arboriculture et cultures maraîchères (2015). *Bilans 2015. Lutte anti-gel*, 22 p.
- Service de l'agriculture (2017). *Gestion de la lutte anti-gel par aspersion sur le domaine de Châteauneuf (20 juillet 2017)*, 21 p.
- Service de l'environnement (SEN) (2017). *Etudes de faisabilité pour la mise en œuvre des mesures de lutte contre le gel pour l'arboriculture et viticulture valaisanne. Cahier des charges pour la réalisation des études hydrogéologiques*, Département de la mobilité, du territoire et de l'environnement, 5 p.
- Siriwardene N.R., Deletic A., Fletcher T.D. (2007). Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters- Insights from a laboratory study, *Water Res.* **41**, 1433–1440.
- Song Y., Du X., & Ye X. (2019). Analysis of potential risks associated with urban stormwater quality for managed aquifer recharge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17), 3121.
- Sonney R., Ornstein P., Arnoux M. et Christe P. (2021). Cartographie de la piézométrie à l'échelle de la vallée du Rhône entre Brig et le Léman, *Aqua et Gas* **4**, 48-54.

- Soutter M., Mermoud A., Musy A. (2007). *Ingénierie des eaux et du sol. Processus et aménagements*, Presses polytechniques universitaires et romandes, 294 p.
- Steiner R. (2004). Untersuchungen im Pfywald (Wallis) zu Wechselwirkungen zwischen Rhone und Grundwasser mittels Tracern und Modellrechnungen, travail de master, ETH Zürich.
- Vialle C., Sablayrolles C., Lovera M., Jacob, S., Huau, M. C., & Montrejaud-Vignoles, M. (2011). Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water research* **45(12)**, 3765-3775.
- Winter K.J., Goetz D. (2003) The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. *Water Sci. Technol.* **48**, 9–14.

11.5 Hydroélectricité – éclusées

- Alpiq SA, Axpo Power AG, FMV SA (2022) **provisoire**. *Assainissement du régime des éclusées sur le Rhône et ses affluents Rapport conjoint « Etape principale 1: Définition des objectifs »*. Au nom et pour le compte de l'ensemble des détenteurs d'installations concernés (Haut-Valais / Bas-Valais), 150 p. et annexes (les rapports d'experts de biol conseils SA, géau environnements SA)
- BG, Stucky et PRONAT (2007). *Etude d'assainissement (selon les exigences de l'art. 80 al. 1 et 2 LEaux) et étude liée aux purges et vidanges répétitives, Canton du Valais, SFH, SPE, SRCE, SFP et SCPF*, 108 p.
- Biol conseils SA (2023). *Assainissement des éclusées du Rhône et ses affluents. Définition des objectifs globaux / Note d'expertise 1*, Alpiq, Axpo et FMV, 17 p.
- Biol conseils SA, BG et géau environnements SA (2021) **provisoire**. *Assainissement du régime des éclusées sur le Rhône et ses affluents. Définition des objectifs et présélection des mesures / Note explicative du tableau de synthèse des déficits, potentiels et priorités pour les domaines macrozoobenthos, poissons et turbidité/lumière en relation avec les conditions de terrain*, Alpiq SA, Axpo Power AG, FMV SA, 10 p.
- GAP-VS – groupement d'étude pour l'assainissement et les purges (2007). *Bassin versant de l'Aboyeu. Rapport d'assainissement*, SEFH, 38 p. et annexes.
- Garnier A., Barillier A. (2015). The Kembs project: environmental integration of a large existing hydropower scheme, *La Houille Blanche* **4**, 21-28.
- géau environnements SA et biol conseils SA (2023a) **provisoire**. *Assainissement des éclusées sur la Salanfe en aval de Miéville. Analyse des causes et des déficits (MZB et poissons)*, Alpiq SA – Salanfe SA, 130 p.
- géau environnements SA et biol conseils SA (2023b) **provisoire**. *Assainissement des éclusées sur la Salanfe en aval de Miéville. Déficit et objectifs (MZB et poissons)*, Alpiq SA – Salanfe SA, 130 p.
- Meile T., Fette M., Baumann P. (2005). *Synthesebericht Schwall/Sunk*, Publikation des Rhone-Thur Projektes, 48 S.
- OFEV (2017). *Éclusées – Mesures d'assainissement. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux*. Office fédéral de l'environnement, Berne, *L'environnement pratique* **1701**, 134 p.

11.6 Autres

- géau environnements SA (en cours). *Clarification et typologie du Réseau hydrographique cantonal valaisan (RHcVS) pour valider l'Inventaire cantonal des Eaux Publiques Superficielles (IcEPS)*, SDM, SEFH, SCEFP, SCA, SDT et SEN
- géau environnements SA (2022). *Projet Pouta Fontana. Rapport technique*, service de construction des routes nationales, 37 p. et annexes
- géau environnements Sàrl (2016). *Büttenbach. Hydrologie du Pumpensee. Estimation des apports et calcul de courbes de tarage pour le système hydrologique actuel*, OCRN, 6 p.
- Cordonier et Rey (2020). *Projet régional de gestion des eaux Lienne-Raspille. Rapport technique*, 113 p. et annexes.
- RWB Valais SA et géau environnements SA (2020). *Amélioration du réseau d'amenée d'eau au périmètre d'irrigation de la région de Venthône et renouvellement total du réseau de conduites pour une irrigation*

efficente jusqu'en 2070. Avant-projet – rapport technique, Consortage d'irrigation et de valorisation de la région de Venthône, 44 p. et annexes.

12. Annexes

Annexe 1	Comptes-rendus des séances de présentation liées aux besoins des industries
Annexe 2	Comptes-rendus des séances de présentation liées aux besoins des communes
Annexe 3	Comptes-rendus des séances de présentation liées aux synergies potentielles avec les grands projets
Annexe 4	Réponses au questionnaire envoyés au communes (partie francophone)
Annexe 5	Réponses au questionnaire envoyés au communes (partie germanophone)
Annexe 6	Résultats de la campagne de mesure de la qualité des eaux d'octobre 2015
Annexe 7	Débits turbinés en 2004 pour les centrales principales
Annexe 8	Calculs hydrauliques simplifiés par variante et par tronçons
Annexe 9	Résultats du modèle HEC Ras pour la variante maximale.
Annexe 10	Estimation des coûts par variante et par tronçons
Annexe 11	Protocole de la séance de lancement du mandat
Annexe 12	Carte des contraintes environnementales (eaux superficielles et milieux aquatiques)
Annexe 13	Carte des contraintes environnementales (nature, paysage et protection des eaux)
Annexe 14	Carte des contraintes environnementales (utilisation du sol)
Annexe 15	Besoins agricoles par commune
Plan 1	Aménagements hydroélectriques existants (Bassin du Rhône)
Plan 2	Approvisionnement en eau potable et intérêt éventuel à la CEM Plan 3
Plan 3	Synergie potentielle avec grands projets
Plan 4	Contraintes avec infrastructures existantes
Plan 5	Variante 390 m ³ /s profils types pour sous-variante écoulement libre divers tableaux pour sous-variante turbinage
Plan 6	Besoins industries
Plan 7	Variante 225 l/s profils types et divers tableaux
Plan 8	Variante 30 m ³ /s profils types pour sous-variante écoulement libre divers tableaux pour sous-variante turbinage

