



Archétypes alpins



2020, Marion Moutal, Loïs Bouché

Archétypes alpins

Scenarii critiques de
l'infrastructure hydraulique

Directeur pédagogique : Roberto Gargiani
Maître EPFL : Silvia Groaz
Deuxième professeur : Aurelio Muttoni

Sommaire

| | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------------------------|------------|
| Prologue | 5 | Précis technique | 101 |
| Genèse | 9 | Premières définitions | 102 |
| L'eau dans le paysage | 12 | Le choix du site | 103 |
| La mise en scène de l'eau | 14 | Le barrage en remblai | 104 |
| Les limites du monde | 17 | Les barrages en béton | 108 |
| Le paysage alpin | 21 | Le barrage-poids | 109 |
| Vers une nouvelle subjectivité | 23 | Le barrage-poids évidé | 112 |
| Les aléas naturels | 25 | Le barrage à contrefort | 114 |
| L'infrastructure hydraulique | 26 | Le barrage-voûte | 116 |
| La crise du concept de nature | 27 | Les barrages hybrides | 118 |
| La permanence et le paysage | 29 | Documents techniques | 120 |
| Exode | 31 | Bibliographie | 135 |
| Le site | 34 | Iconographie | 141 |
| La ville éphémère | 36 | | |
| Le site transitoire | 38 | | |
| Le fonctionnement du barrage | 39 | | |
| La mise en eau | 40 | | |
| Le cycle de l'infrastructure | 43 | | |
| La sécurité du barrage | 46 | | |
| La matérialité de l'objet | 49 | | |
| L'objet dans le paysage | 51 | | |
| L'imaginaire du barrage | 54 | | |
| Le monument | 57 | | |
| Apocalypse | 61 | | |
| Les impacts environnementaux | 64 | | |
| La maladie du béton | 67 | | |
| La politique économique | 68 | | |
| La transition énergétique | 70 | | |
| Le futur climatique | 70 | | |
| Les répercussions actuelles | 72 | | |
| Quelques exemples | 73 | | |
| Les scénarii | 76 | | |
| Epilogue | 91 | | |

« Je ne rêve pas à Paris, dans ce cube géométrique, dans cet alvéole de ciment, dans cette chambre aux volets de fer si hostiles à la matière nocturne »¹. Gaston Bachelard évoque les limites de ses aspirations rêveuses lorsqu'il se trouve dans un milieu où le béton l'entoure constamment. Seule la nature le délivre de cette emprise et laisse ses songes se déployer. Quelle serait sa pensée si, au détour d'une ravine, son regard se pose sur un immense mur de béton placé dans un écrin de nature ? Il existe tout un imaginaire autour des barrages, ces formes implantées jusque dans les endroits les plus inaccessibles des Alpes. Ils sont une masse de béton gigantesque, la plus grosse que l'homme ait su imaginer. Les fantômes qui l'enlacent ne trouvent pas leur source uniquement dans l'environnement qui l'entoure, mais également dans les légendes rurales. Les Alpes, reflet contemporain du sublime, de la beauté et de la pureté, ont elles-mêmes été longtemps entourées de mythes effrayants. À la Renaissance, le bourgeois se bande les yeux lorsqu'il s'y aventure par peur de devoir faire face à quelques événements inopportuns.

Le béton n'est sans doute étranger ni à la fascination qu'exercent les barrages ni aux raisons qui ont poussé les hommes à peupler les montagnes de ces géants silencieux. Symbole de modernité, il incarne cette ambiguïté qui le caractérise, entre nature et artifice, entre processus et finitude. Ces murs de béton ont l'emprise visuelle si forte dans le milieu alpin que l'on ne peut les ignorer. Ils suscitent néanmoins des opinions divergentes. Des narratifs collectifs et personnels se créent autour d'eux. Ils sont parfois sujets à la contemplation, l'admiration et la fascination ou au contraire à l'effroi, la peur et la désapprobation. Souvent personnifiés, les sentiments qu'ils induisent les renvoient à leur nature de monstre, d'objet qui s'écarte des normes et suscite une myriade d'émotions ambivalentes. Que ce soit les dimensions du barrage, son édification — la quantité de matière et le nombre de machines nécessaires —, sa mise en eau ou son fonctionnement, tout concourt à en faire un objet extraordinaire, dans le sens qui sort de l'ordinaire. Ces éléments sont liés au mi-

¹ Bachelard, Gaston. *La terre et les rêveries du repos*. Paris: Librairie José Corti, 1984. p.89

lieu dans lequel il est établi : les montagnes, ces grandes dames érigées depuis la nuit des temps, présentes à travers les siècles aux yeux de l'homme, dont le calme a été bouleversé par cette grande infrastructure, le barrage. Leur construction a nécessité de s'attaquer aux roches des montagnes, en les cassant, les creusant, les injectant de ciment pour inscrire le barrage dans ce paysage, telle une cicatrice. Il devient une sorte de rival de la nature de par sa taille exceptionnelle et l'intensité de sa fonction, créant une dialectique dans le paysage.

Afin d'appréhender ces infrastructures et de développer un imaginaire autour de celles-ci, le travail a été dans un premier temps abordé sous un angle documentaire. Parcourir les Alpes suisses, arpenter les couronnements et les alentours de treize barrages était un acte nécessaire pour comprendre leur forme, leur échelle et leurs conditions d'implantation. Seulement après cette investigation, il a été possible d'analyser la portée des barrages sur leur environnement. Un regard précis sur le paysage a permis de construire un catalogue photographique à l'issue de la visite de ce corpus d'ouvrages. À bien des égards, la démarche entreprise fait écho au travail de Bernd et Hilla Becher qui, tout au long de leur vie, ont documenté photographiquement des typologies industrielles sur le déclin. Néanmoins, les conditions topographiques des Alpes, ainsi que la nature des infrastructures hydraulique, annihile la possibilité de produire des photographies similaires. L'intention était essentiellement de représenter le barrage comme un objet autonome, une forme *per se* qui acquiert au travers de la photographie une existence propre, suggère ses existences passées et son devenir.

L'analyse proposée par la suite a l'ambition d'aborder le barrage comme un objet d'architecture au sens large, « entendue à la fois comme l'ensemble des objets édifiés et champs des savoirs théoriques et pratiques qui s'y rapportent »². Généralement limitée au champ d'expertise de l'ingénieur, l'infrastructure hydraulique sera ici replacée dans le paysage alpin et le réseau d'activités qui s'y développent. Le paysage qui nous entoure est une construction composite, façonnée à l'image des désirs et des anxiétés des âmes qui y vivent. Il est aussi le point de tension entre les activités sociales, la politique et l'économie. Considéré avant tout comme la nature en elle-même, le paysage est progressivement devenu une construction humaine au gré des agricultures traditionnelles, des jardins construits par la perspective et des constructions industrielles. Le territoire a été rationalisé par de grandes infrastructures qui le traversent et imposent à la surface de la Terre un ordre tangible. Les Alpes, ce milieu géologique et biologique dont l'équilibre s'est construit à travers les siècles, n'ont pas échappé à ce processus. Bientôt, ponts, tunnels et routes escarpées surpassent ces entités immuables alors que le territoire s'adapte au développement industriel. Là, les cours d'eau, qui ont toujours été des systèmes continus, traversant les

² Alonzo, Éric. *L'architecture de la voie : histoire et théories*. Champs-sur-Marne : Marseille : École d'architecture de la ville & des territoires ; Éditions Parenthèses, 2018. p.15

vallées depuis le sommet des montagnes, se sont vus métamorphosés par les premières constructions hydrauliques. La première partie de cette analyse développe l'histoire de ce territoire afin de replacer l'apparition des barrages dans un contexte historique particulier. L'aspect symbolique de l'eau et de sa gestion dans l'architecture et le génie civil accompagne en filigrane cette généalogie qui s'étend de l'Empire romain à la fin du 19^e siècle.

Suite au perfectionnement de cette «énergie verte» au début du 20^e siècle, de nombreux barrages fleurissent à travers le territoire alpin pour répondre aux besoins énergétiques croissants des activités humaines. Les barrages, grandes machines de béton, accumulent une masse liquide immensément puissante, retenue à l'amont de cet obstacle artificiel. La puissance énergétique potentielle et flexible des barrages permet un approvisionnement massif et ciblé du réseau, et fournit près de 90 % de l'électricité suisse au milieu du siècle. Cette grande odyssee constructive mondiale s'accélère au lendemain de la Seconde Guerre mondiale et nourrit durant cette période l'imaginaire des architectes et des artistes des années 1960 et 1970, de Robert Smithson à Superstudio. La deuxième partie de l'analyse détaille le fonctionnement technique de l'ouvrage hydraulique alpin — sa mise en œuvre, son existence cyclique, l'engloutissement de portions entières du territoire au cours du 20^e siècle. Elle amorce ensuite le dépassement de ces considérations strictement pragmatiques et analyse l'ambiguïté de la machine — la ville éphémère de la construction, l'image de l'Atlantide lors de la mise en eau, les cycles de remplissage qui rappellent le supplice des Danaïdes.

La troisième partie développe une réflexion contemporaine sur ces constructions. Ces géants de béton qui ont rempli d'orgueil leurs bâtisseurs pendant des décennies ne parviennent plus à cacher leurs faiblesses. De l'éveil écologiste des années 1970 aux problèmes techniques liés à leur fonctionnement, il s'agit de dresser un constat critique de la situation actuelle des grands barrages alpins. Ainsi, cette dernière partie aborde les problèmes de sédimentation des réservoirs, les inquiétudes liées au vieillissement du béton, les enjeux environnementaux et l'évolution du paradigme économique à l'aube du 21^e siècle. Par ailleurs, il est nécessaire d'explicitier les conséquences du changement climatique sur l'environnement alpin et le devenir des barrages. Le fonctionnement de ces derniers repose sur un équilibre hydrologique qui subit un dérèglement global, tant au niveau des précipitations, du ruissellement, que de la fonte du permafrost, fragilisant l'ensemble des versants alpins. Les conséquences du changement climatique se voient significativement sur les glaciers dont la fonte accroît au fil des années et qui constituent une source d'eau importante pour l'activité des barrages. Présents depuis la naissance des montagnes, ces géants de glace sont en voie d'extinction et pourraient disparaître d'ici la fin du siècle.

Dans les Alpes, un paradoxe d'équilibres précaires est dorénavant tangible, entre un milieu ancestral autrefois autostabilisé et une infrastructure finalement « ponctuelle » par rapport à l'échelle des temps géologiques. Cette ambiguïté temporelle incarne la difficulté de l'homme à penser rationnellement le devenir d'un lieu, d'un objet, d'un environnement en prenant compte des paramètres climatiques évolutifs. Dans un tel contexte, ces recherches permettent de construire l'ébauche de scénarii quant à envisager la permanence des barrages dans un paysage qui fait face à un déséquilibre critique.

Genève



Si «La création de lacs artificiels à l'aide de barrages révèle au regard un vaste jardin»¹, alors l'homme qui sut domestiquer l'eau et la plier doucement à ses désirs se rapproche des divinités. La civilisation est redevable de ceux qui croyaient à ces mythes dès l'aube de l'humanité et se réclamaient de l'espèce qui saurait pierre après pierre bâtir son Eden. L'image du jardin ombragé, des arbres bourgeonnants, d'un miroir d'eau dans lequel se reflète la canopée sylvestre, une nature clémente dans laquelle l'homme s'épanouit en symbiose avec ce qui l'entoure, flottera quelques instants. Puis elle laisse entrevoir les dessous d'un paysage fait de toutes pièces, une illusion dissimulant la planéité irréaliste du lac et le belvédère. Ce paysage est supporté par une pyramide de béton, dernière née d'une longue lignée d'infrastructures destinées à subordonner les rivières. La nature n'est finalement libre et sauvage que dans un passé lointain, désormais subjuguée par des monstres abstraits qui la contraignent et l'organisent. L'infrastructure aura, au court de cette analyse, une importance décisive. Il est dès lors nécessaire d'en donner une première définition afin de clarifier la suite du propos. Elle est généralement établie comme une base performative, nécessaire au fonctionnement d'une structure concrète ou abstraite. Dans le domaine de l'architecture, elle satisfait un besoin ou crée les conditions favorables à cette satisfaction. Les infrastructures sont de ce fait des «utilités» par essence. Elles constituent un réseau entrecroisé de formes, qui supplantent la nature et permettent de se déplacer, s'approvisionner en ressources, et ainsi combler la complexité des besoins humains. L'image de l'infrastructure se construit sur un triptyque vertueux entre la nature, la technologie et l'homme². La nature porte l'infrastructure sur laquelle se construit la société. Ce triptyque implique une double relation symbiotique, entre l'infrastructure et

1 Flam, Jack. *Robert Smithson – The Collected Writings*. Reprint. Berkeley : University of California Press, 1996. P.58

2 Picon, Antoine dans « Nature, Infrastructure and Cities », Cohen, Preston Scott, et Erika Naginski. *The Return of Nature: Sustaining Architecture in the Face of Sustainability*. Routledge, 2014. p.174 «Roads, bridges and canals were generally located in natural settings. They exploited the productive power of nature to the benefit of mankind (...) the capacity of infrastructure, once built, to complement nature harmoniously all the while revealing some of its hidden features»

3 Ibid. p.173
« In our contemporary
technologically driven world,
nature increasingly appears
as a fragile entity that is
itself in need of infrastruc-
tural support »

son écrin naturel, mais également entre l'homme et la technique. Cette image, lorsque confrontée au réel, donne naissance à deux paradoxes. Bien souvent, l'infrastructure se décontextualise et s'affranchit concrètement du locus. Forme autonome, la nature est simplement un support à son existence, un ensemble de données techniques. La nature fragile, abîmée, porte les stigmates d'une exploitation trop intense³. Parallèlement, la technique et l'infrastructure sont-elles réellement bénéfiques à long terme si les dommages qu'elles infligent à son environnement sont irréversibles ? Les Alpes et leurs sommets enneigés, leurs vallées encaissées et leurs torrents capricieux incarnent ce paradoxe de manière sensible. Le premier chapitre de cette analyse prend la forme d'une généalogie de deux thèmes essentiels à la compréhension du barrage dans son environnement, le thème de l'eau et le thème du paysage. La première partie de ce chapitre replace l'eau comme objet primaire du territoire. L'élément fondateur est vu à la fois comme vecteur de civilisation et menace imprévisible. L'architecture apparaît alors comme un moyen de s'approprier sa puissance physique et symbolique. Parallèlement, la notion de paysage devient essentielle dans la compréhension de notre environnement aussi bien naturel que construit. Le paysage des Alpes obéit à sa propre logique dans laquelle l'infrastructure occupe une place essentielle. Dans ce contexte, quelques événements historiques apparaissent comme déterminant dans la construction des premiers barrages.

L'eau dans le paysage

Le vaste jardin de la terre est un paysage fragmenté par un ensemble d'événements géologiques et morphologiques qui le divisent en autant d'espaces plus ou moins définis. Les rivières et les montagnes, tout comme les mers, les lacs et les océans, constituent des éléments naturels tangibles de la fragmentation du territoire. Ces données hydrologiques et géologiques orientent en filigrane les directions suivies par notre civilisation et définissent des frontières plus ou moins poreuses, délimitant l'espace de l'homme. Très vite, les rives alluviales ont vu leur condition naturelle sacrifiée au profit d'une nature apprivoisée, adoucie. Elles deviennent naturellement les berceaux de la civilisation, et cela du moment où elles prennent leur source, jusqu'à l'instant où elles se dispersent dans des eaux plus sombres et sans limites. Chaque rivière constitue une scène intrinsèquement unique, qui pourtant porte en son sein l'ensemble des représentations superposées qui composent l'imaginaire de l'eau.



La pensée grecque, par la célébration et la matérialisation de l'eau, explicite l'élément aquatique comme symbole de l'origine de toute chose. «À ces lieux qu'imprègne l'écoulement de l'eau est attachée l'image gracieuse et féminine des Nymphes - Naïades et Océanides -, qui aillent représenter aussi toutes les composantes de la nature.»⁴ La présence de l'eau renvoie, au-delà de la simple matérialité aqueuse, à la constitution d'un paysage spécifique dans lequel la rivière est l'élément fondateur. Cependant, l'élément mystique et pionnier ne se détache que

f.1 Paul Gauguin, Dans les vagues, ou Ondine
Huile sur toile
1889
92.5 x 72.4 cm

4 Houlle, Thierry. *L'eau et la pensée grecque : du mythe à la philosophie*. Ouverture philosophique. Paris : Harmattan, 2010.

rarement de son ombre destructrice. La nature, paradoxale, sait défaire en quelques instants ce dont elle a participé à créer au gré de ses envies. Là où les caprices de Zeus nourrissent le lit hésitant d'un torrent esseulé, celui-ci se gorge d'une force nouvelle et, redoublant d'une volonté vivace, ses crêtes brunâtres emportent soudainement poussières et ponts. Puis, progressivement, l'eau ralentit, se calme puis s'arrête complètement. Les flaques éparses s'évaporent pour ne laisser qu'un étrange amoncellement de roches érodées. Les craintes de l'homme se matérialiseront par un ensemble de dispositifs tentant de juguler la schizophrénie divine. Ces machines revêtent différentes formes au travers des siècles, unies dans le désir commun de parvenir à réguler les flots, tantôt trop abondants, tantôt insuffisants. En Mésopotamie, les hommes bâtissent de simples rigoles qui acheminent l'eau vers les plantations, et de cette union naissent les premières formes urbaines⁵. Plus tard, dans la Rome antique, les aqueducs deviennent des éléments majeurs dans la construction du paysage, alors qu'ils se déploient souvent le long des grandes voies de circulation. Les infrastructures dirigent l'eau le long de grands tunnels aériens, approvisionnant de la sorte les grandes cités de l'Empire à partir du 1er siècle. Elles étaient destinées à s'affranchir des caprices topographiques qui pouvaient entraver l'écoulement naturel de l'eau. Ces grands ouvrages incarnaient déjà la symbolique de maîtrise de l'eau et du territoire. Alors que leurs arches parvenaient aux portes des villes, il était fréquent que les aqueducs prennent appui sur des portes monumentales existantes ou que leur structure soit ornementée de manière grandiose.

5 Childe, V. Gordon. «The Urban Revolution.» *The Town Planning Review* 21, no. 1 (1950): 3-17
« At the same time dependence on river water for the irrigation of the crops restricted cultivable areas while the necessity of canalizing the waters and protecting the habitations against annual floods encouraged the aggregation of population. Thus arose the first cities - units of settlements ten times as great as any known neolithic village »

f.2 M. Zeno Diemer, was-serleitungen im Alten Rom - Römische Aquaedukte an der Via Appia bei Rom, 1914
215 x 315cm

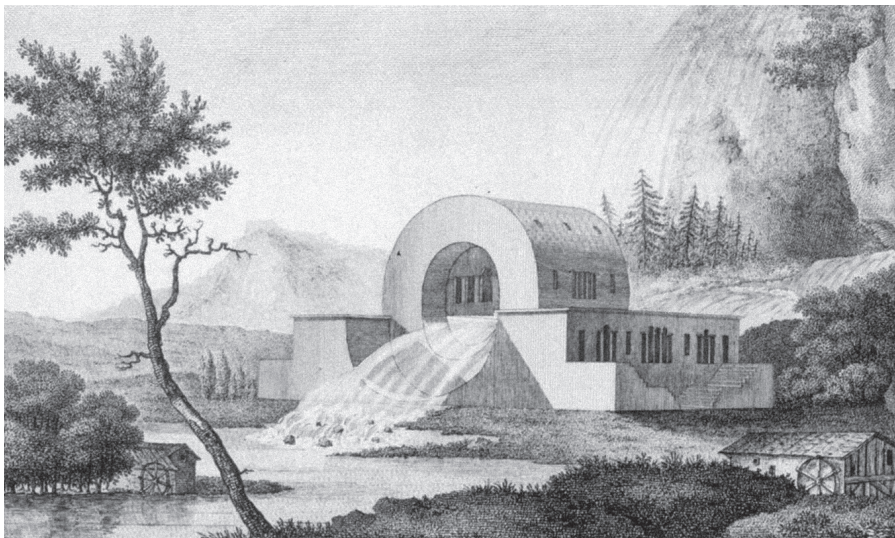


La mise en scène de l'eau

6 « Canaux : celui du languedoc est un des plus glorieux monuments élevés par Louis XIV, par son utilité, par sa grandeur et par ses difficultés ». Voltaire, « Siècle de Louis XIV », *Œuvres complètes de Voltaire* vol.4, Paris : Furne, 1836, p.222

Plus d'un millénaire plus tard, en 1771, Claude-Nicolas Ledoux, architecte du Roi, se voit confier la réalisation des Salines Royales d'Arc-et-Senans. Près de la forêt de Chaux, en lisière des contreforts du jura, il conçoit les salines comme le fragment d'une ville idéale dont il dessinera certains édifices architecturaux et infrastructurels. Dans l'ensemble des projets, l'eau est vue comme un protagoniste, dont l'ubiquité des phases et des fonctions se doit de transparaître dans le langage architectural. La composition générale de la ville relève de la disposition paysagère d'un jardin anglais, que Ledoux inclut dans un narratif utopique, la présence de l'eau s'exprime à travers de nombreux dispositifs qui mettent en évidence ses usages divers. Le projet de pont sur la Loue, dont les piles ont la forme de navires grecs, met en exergue l'importance de l'eau comme mode de transport. Déjà à cette époque, Voltaire qualifiait le Canal du Midi, récemment achevé, de « monument le plus glorieux »⁶ depuis l'âge d'or des grandes infrastructures hydrauliques romaines. Dans le projet de Ledoux, le hall des Salines est dessiné pour produire l'effet d'une grotte dans laquelle la rivière prendrait symboliquement sa source. Pour l'architecte, même la vapeur d'eau qui s'échappe des hautes cheminées, pourrait constituer un élément indicatif du

programme des Salines Royales et dramatiser la nature de l'eau. En accordant autant d'importance à l'eau, et en insistant sur son ubiquité, Ledoux confère à l'architecture une portée universelle puisqu'elle arrange et accommode l'élément essentiel à toute vie. Les connaissances de l'architecte et sa capacité à apprivoiser les éléments deviennent les conditions sine qua non d'une vie civilisée et prospère en adéquation avec son environnement. Le rôle de l'architecte est d'autant plus parlant dans le projet publié en 1804 et dénommé « Maison des Directeurs de la Loue »⁷. Dans *Water/Space : « Ledoux and the Disposition of Architecture and Machines »*, Julian Wachmann insiste sur les prémices du projet dans l'idéal Ledolcien. D'après les dires de l'architecte, « les professionnels comme les ingénieurs, les instances politiques ou les architectes doivent transformer la force destructrice de la nature en une force productive, et changer la nature sauvage et hostile en un monde cultivé propice à l'humanité »⁸. Le projet est composé selon une typologie de maison de campagne à la française, à partir de deux formes élémentaires : un prisme droit sur lequel repose un cylindre traversé en son centre par la source de la rivière. Le cheminement des eaux au travers de la structure détermine par ailleurs l'axialité du plan. La salle de billard, dont le volume matérialise l'image technique de la vanne guillotine, propose une vue sur un paysage paradoxal qui s'offre au regard de part et d'autre de la maison. La vue perspective représente en arrière-plan un paysage sauvage, fait de rochers et d'écume, surplombé d'une falaise menaçante. Au contraire, le premier plan montre une étendue calme et miroitante, apaisée par la régulation de l'architecture-machine, permettant aux moulins d'user en toute quiétude de la force hydraulique. L'architecture de Ledoux



est parlante à bien des égards. Elle reflète les préoccupations des contemporains de l'architecte, qui souhaitent parvenir à vivre en symbiose avec les

éléments de la nature, sous des latitudes où les crues constituent les principales menaces naturelles de grande ampleur. Il incombe à l'architecte ou en l'occurrence aux directeurs de la Loue de maintenir un équilibre hydrologique et une équité quant à la distribution de l'eau en tant que ressource publique par essence. L'architecture s'érige comme garante d'un devoir

⁷ Ledoux, Claude-Nicolas, *L'Architecture considérée sous le rapport de l'art, des mœurs et de la législation*. Paris : C.N.Ledoux et H.L. Perroneau. 1804

⁸ Wachmann, Julian, « *Water/Space : Ledoux and the Disposition of Architecture and Machines* » p 46 dans Gleich, Moritz, et Laurent Stalder, éd. *Architecture/Machine: Programs, Processes, and Performances*. Gta Papers 1. Zürich : gta Verlag, 2017
« professionals like engineers, officials, or architects have to transform nature from a force of destruction into a productive power, a hostile wilderness into the cultivated realm of mankind » (traduction libre)

f.3 Dessin de Ledoux, Claude-Nicolas, *Maison des directeurs de la Loue*, publié en 1804

moral, que Claude-Nicolas Ledoux exprime à travers la mise en scène de l'eau. L'architecture autonome matérialise ainsi l'idéal d'une source sereine et contrôlée, propice à l'épanouissement de l'homme dans la nature.

Le projet de Ledoux incarne un nombre de questions sous-jacentes à la construction d'ouvrages hydrauliques. La question du langage architectural de ces infrastructures se condense souvent dans le cas des barrages, dans la forme de l'élément qui, comme le cylindre de la Maison des directeurs de la Loue, permet à l'eau de s'écouler au-delà de la structure. Ces dispositifs orchestrent également la représentation des limites de l'infrastructure qui n'a d'autre choix que de se libérer d'une partie des pressions que l'eau en excès exerce sur la construction lorsqu'elle est en excès. La typologie du barrage-centrale d'Ova Spin⁹ par l'architecte Konrad Metzger apparaît comme un reflet de la permanence de ces questionnements quant à la mise en scène de l'eau. À l'aune de la profonde ravine creusée par le Spöl, en contrebas du Pia Terza, dans le Parc National Suisse, l'érosion des roches friables par l'eau est observable. Le barrage-voûte à double courbure, construit en 1970, se niche au creux de cette gorge, accumulant les eaux du torrent pour former une retenue de quatre kilomètres. La verticalité de l'infrastructure est exacerbée par l'étroitesse du vide entre les parois escarpées. Elle est composée de deux éléments structurellement autonomes, mais liés par la composition et le programme qui les transcende. Le mur de retenue, haut de 73 m, surplombe la centrale qui se loge en contrebas. Tous deux sont supportés par un bloc de fondation commun incrusté dans la vallée accidentée. L'évacuateur de crue,

9 Clavuot, C., Ragetti, J.,
« Die Kraftwerkbauten im
Kanton Graubünden », Chur
1991



f.4 Kraftwerk Ova Spin
Spölschlucht, 1970
Architecte : Konrad Metzger
Maître d'ouvrage : Kanton
Graubünden

une sorte de gigantesque rampe trapézoïdale de béton armé, s'élance depuis le couronnement pour venir s'appuyer dramatiquement sur la partie supérieure de la façade. L'eau en excès se déverse alors, à la manière de Ledoux, au-devant des ouvertures de la centrale orientées vers l'aval du Spöl. Une cascade écumeuse dé-

vale et s'écrase sur le lit presque asséché du torrent au pied de la double voûte. Dans les grandes infrastructures hydrauliques, l'évacuateur de crue est généralement l'élément qui transcende sa simple utilité et s'attache à construire symboliquement la relation paradoxale qu'entretiennent eaux et barrages.

Ces premières analyses mettent en lumière la nécessité profonde de l'homme à contrôler les caprices des eaux qui l'entourent, pour des raisons économiques et politiques, mais aussi symboliques. L'homme affirme son pouvoir et sa maîtrise du

territoire au travers les infrastructures qu'il conçoit et qui constituent le cadre de ses ambitions. La maîtrise de l'eau est vectrice de stabilité politique comme de croissance économique et de cet idéal symbiotique découla un ensemble de propositions architecturales. En ce sens, la posture conceptuelle que l'architecte adopte lors de la construction d'infrastructure entend refléter la représentation culturelle de la relation entre le territoire et la société. Il semble que, pour prolonger l'ensemble de ces questionnements, il soit nécessaire d'introduire la notion de paysage, qui semble plus spécifique que la notion de territoire dont les limites sont difficilement tangibles. En outre, l'idée de paysage induit une dimension sensible dans l'appréciation du territoire et la prééminence de l'expérience esthétique. Dans la gravure qui représente la maison des directeurs de la Loue, Ledoux insiste implicitement, sur la composante paysagère dans la conception de sa ville idéale, où l'architecture devient un objet de médiation et d'unification d'un ensemble. La maison, placée au centre de la gravure, articule d'une part, un paysage maîtrisé par l'homme et d'autre part, une nature inhospitalière¹⁰. Chacune des deux représentations de la nature fait appel au lexique visuel symbolique de ces deux mondes. Aux douces vaguelettes qui brouillent délicatement les reflets des moulins s'opposent les remous tumultueux d'un torrent sauvage. La composition de paysages à partir de l'eau et de l'architecture devient un procédé qui participe de la scénographie et qui semble émaner de l'ensemble de ces projets d'infrastructures. Dans ce processus de réintégration de l'objet technique dans un contexte culturel afin de le réhabiliter comme objet d'architecture au sens large, il est important d'éclaircir les notions de paysages et de mettre en lumière l'évolution de ses représentations.

10 Wachmann, Julian, « Water/Space : Ledoux and the Disposition of Architecture and Machines » p 46 dans Gleich, Moritz, et Laurent Stalder, éd. *Architecture/Machine: Programs, Processes, and Performances*. Gta Papers 1. Zürich : gta Verlag, 2017
« The landscape behind the building seems barely inhabitable; a jagged mountain rises abruptly behind a dramatic waterfall » (traduction libre)

Les limites du monde

La définition établie il y a trois siècles décrit le paysage comme «une portion de terrain que l'œil peut saisir d'un seul coup»¹¹. Elle est nuancée par l'interprétation propre de l'artiste dont le rôle était de prendre les formes, les couleurs et les espaces, et d'en faire une composition pour créer une œuvre d'art — du moins une représentation subjective du paysage. Ces premières définitions soulèvent d'ores et déjà la question de la subjectivité de la beauté vue sous le référentiel de l'artiste. Nourries d'une suite de paradoxes, les définitions de cette notion se démultiplient. Parce que «paysage» désigne à la fois l'objet dans la réalité, c'est-à-dire une disposition d'éléments sur un territoire

11 Brinckerhoff-Jackson, John, Jean-Marc Besse, Gilles A. Tiberghien, et Xavier Carrère. *A la découverte du paysage vernaculaire. Arles (Bouches-du-Rhône); Rennes (Ille-et-Vilaine)*: Actes Sud, 2003.

12 Simmel, Georg, « Philosophie der Landschaft ». dans die güldenammer, 1913, t.II, pp.642, trad. M.J

défini, et sa représentation, alors la réinterprétation faite par l'artiste est du ressort de son imaginaire propre. Le deuxième paradoxe réside dans la non-objectivité inhérente au paysage. Il est effectivement défini comme une notion dynamique, dont la définition ne se fixe ni par la description de l'individu, ni par sa représentation picturale, ni par sa définition langagière. George Simmel donnera l'idée de « l'oeuvre d'art in statu nascendi »¹², un élément en perpétuelle construction et transformation. Le philosophe allemand insistera pourtant sur le fait que le paysage naît d'une forme d'unité, qu'il décrira comme une atmosphère, un « Stimmung » conditionnant son existence en tant que telle.

Il paraît naturel de penser que le paysage vu et intériorisé par un sujet n'est pas une notion fixe, mais fluctuante en fonction du milieu, du temps et des événements. L'expérience sensible d'éléments dans le territoire est par essence subjective et évolutive. De nouveaux composants sont sans cesse soustraits et ajoutés au monde environnant. Les nouvelles associations, combinaisons, mises en perspective, sont autant de paysages qu'il est nécessaire d'intérioriser et d'apprivoiser. Dans cette expérience du paysage, il existe un phénomène appelé perception sélective. Dans le processus d'observation, le sujet filtre les informations qui lui parviennent — du moins les hiérarchies. Cette hiérarchie perceptive est influencée par un ensemble de facteurs, nos désirs immédiats et nos besoins, notre expérience passée et notre culture. Ces facteurs participent de la création d'une image de notre environnement, du paysage que l'on perçoit. Michael Jakob affirme ainsi que le paysage est « le résultat hautement artificiel, non-naturel, d'une culture qui redéfinit perpétuellement sa relation avec la nature, ce qui renvoie au paradoxe suivant : l'expérience du paysage est en premier lieu une expérience de soi »¹² et d'héritage culturel. L'homme n'est alors pas neutre face au paysage et l'expérience naïve qu'il fait de celui-ci est une précondition utopique. Pour le sujet, la dimension culturelle de notre perception du paysage est corroborée par le principe de « sédimentation », que Jakob décrit comme des « images-paysages »¹³. Ces « images-paysages » sont les représentations prédéterminées du monde, des publicités, des cartes postales, des photographies ou des peintures, qui filtrent pour le sujet la perception de ce qui l'entoure. Ainsi, la perception du territoire serait finalement une redondance de représentations, si bien que l'expérience originelle du paysage est à jamais inaccessible. L'ensemble de ces processus qui participent de la création du paysage et sa représentation sont cruciaux pour la compréhension de l'infrastructure dans les Alpes. L'analyse de l'infrastructure nous informe pour sa part sur la représentation de la nature dans une société et également sur la signification culturelle de la forme dans le paysage. En effet, si l'infrastructure se plie largement aux contraintes du lieu qu'elle traverse et qui lui sert de « support », les stratégies pour s'accommoder de ces contraintes sont extrêmement variées

13 Jakob, Michael. *Le Paysage*, 2013. p. 31

et culturelles. D'autre part, l'infrastructure a tendance à refléter culturellement la société qui lui donne vie et son expression physique n'est jamais neutre. Finalement, le sujet de cette étude est une construction qui se place à la croisée de la subjectivité d'un ensemble d'individus et les données spécifiques d'un lieu dans un territoire. Afin de discerner les processus qui conditionnent la perception du barrage dans le paysage, il est sans doute nécessaire d'analyser une généalogie des représentations de l'infrastructure dans le paysage.

Dans le paysage médiéval apparaissent déjà les relations hiérarchiques et politiques entre les différentes composantes du territoire. La fresque du Palazzo Pubblico de Sienne, réalisée par Ambrogio Lorenzetti et nommée *L'Allegoria ed Effetti del Buono e del Cattivo Governo*, est une composition morcelée de fragments du territoire représentés ensemble pour établir des relations. La ville médiévale y côtoie une nature déjà profondément marquée par la main de l'homme et subjuguée par la forme urbaine. La représentation est marquée par une absence totale de fascination pour la nature¹⁴, qui apparaît uniquement comme un élément dominé et rendu tangible par la présence de la ville. La forme urbaine organise spatialement un territoire d'ores et déjà rationalisé par les cultures, les constructions et les voies qui le traversent. En outre, un mur de pierre, surmonté de végétation et accolé au rempart de la ville, traverse la fresque en diagonale, constituant une délimitation infrastructurelle entre les personnages à cheval au premier plan et la campagne cultivée au deuxième. Dans cet exemple mettant en scène le chevalier-citadin et l'homme qui travaille la terre, cette subdivision artificielle du territoire participe de la représentation des relations hiérarchiques propres à la société qui l'a générée. À l'aube de la Renaissance, l'apparition de la propriété individuelle dans le monde occidental esquisse progressivement un nouveau paysage. Les limites sont déterminées avec clarté et génèrent des éléments de démarcation durables (haies, barrières, etc.). La nature ne s'exprime plus d'elle-même, elle est conçue comme un décor contrôlé et le paysage est composé comme une œuvre d'art. Ce changement de paradigme se matérialise dans les peintures de paysages de la Renaissance. Il se manifeste également par la volonté de conceptualiser une fausse nature, qu'elle soit composée ou idéalisée par l'homme. Les modèles esthétiques catégorisent le beau, à travers la peinture et l'art des jardins. Dans la peinture néerlandaise, il apparaît déjà une attitude

14 *ibid.* p. 59



f.5 Ambrogio Lorenzetti, *Allegoria ed Effetti del Buono e Cattivo Governo*, fresque, Palazzo Pubblico, Sienne (Italie) 1338-1339, 200 x 3500 cm

nostalgique envers la nature originelle en réponse aux altérations anthropiques de l'environnement. On représente la nature comme à son état premier, plutôt que modifiée par l'homme. Cette attitude envers la nature se cristallise dans la mémoire collective et malgré les profonds changements qui s'opèrent à partir de la révolution industrielle sur le paysage, ces « images-paysages » constitueront l'idéal et le « vrai » paysage, tant dans la

f.6 Claude Gellée, dit le Lorrain
Huile sur toile
1652
186 cm x 290 cm



perception que la représentation, et ce jusque dans les années 1960. Ainsi, les peintures de paysages de la Renaissance se désintéressent de la réalité qui les entoure. Ils célèbrent plutôt des idéaux antiques, le modèle pastoral et les ruines de l'Empire romain. Ces nouvelles considé-

rations nostalgiques soustraient au paysage sa dimension productive, la réalité sociale et politique de l'époque, et limitent la présence de l'infrastructure dans la représentation. Si à certaines périodes on peut estimer qu'il est possible d'établir une relation entre le paysage vécu et le paysage imagé, entre la réalité du territoire et sa représentation, le paysage de la Renaissance apparaît plutôt comme une construction paradoxale. Il se rattache avec nostalgie à des idéaux anachroniques, niant une réalité bien différente. Pendant cette période, le paysage réel et le paysage idéalisé suivent des voies parallèles sans se rencontrer. La révolution industrielle marque de ce fait un nouveau tournant dans la construction du paysage. Si l'idéal de beauté reste basé sur le modèle de la renaissance, le rapide développement économique et industriel marque bientôt le territoire de ses stigmates. La machine à vapeur marque l'avènement des grandes voies de chemin de fer qui bientôt strient l'ensemble du territoire. Elles sont accompagnées de grands ouvrages construits, de ponts et de tunnels, de gares et d'usines. Les grandes mines fournissent les ressources nécessaires au fonctionnement des machines et ainsi au développement économique. L'infrastructure est désormais un élément essentiel dans le paysage. Le paysage post-industriel est en ce sens plutôt semblable au paysage médiéval. La tradition humaniste incarnée par la Renaissance disparaît d'un côté au profit d'une hétérogénéité généralisée et de l'autre dans la prolifération d'espaces de transition intuitifs qui n'ont plus de rapport avec la construction réfléchie et planifiée du paysage de la Renaissance. Ce type d'espaces intermédiaires, mais également d'autres espaces issus du développement industriel ne trouvent pas d'équivalent dans le paysage traditionnel (comme les parkings, les centres commerciaux, etc.)¹⁵. Ce qui était politisé dans le paysage médiéval et qui s'était dissipé dans la représentation

15 Brinckerhoff-Jackson, John, Jean-Marc Besse, Gilles A. Tiberghien, et Xavier Carrère. *À la découverte du paysage vernaculaire*. Arles (Bouches-du-Rhône) ; Rennes (Ille-et-Vilaine) : Actes Sud, 2003.

de la Renaissance réapparaît dans ce nouveau paysage. Les châteaux sont remplacés par de grandes infrastructures et des espaces politiques, que l'auteur voit comme des « espaces et structures conçus pour imposer ou préserver une unité et un ordre sur la terre »¹⁶. Sous cette dénomination, on se réfère aux autoroutes, barrages, aéroports, câbles électriques, qu'ils soient au cœur du paysage ou non.

16 Ibid.

Le paysage alpin

À bien des égards, le paysage alpin s'érige comme le point de convergence de l'ensemble de ces théories. L'environnement montagneux est à la fois un milieu marqué par des événements géologiques et hydrologiques, un paysage dont les représentations ont largement évolué au cours des deux derniers siècles, et un territoire largement rationalisé par la présence d'infrastructures. Une analyse de quelques représentations des Alpes au fil du temps permet de retracer les changements de perception qui ont caractérisé l'image des montagnes entre le 18^e siècle et aujourd'hui. En outre, le « déplacement » de ces représentations est révélateur de cette relation particulière avec la « nature » qui justifie sa rationalisation progressive. La relation contemporaine de l'homme au paysage alpin est le fruit d'un changement progressif de paradigme. Avant le 18^e siècle, les versants des Alpes sont un habitat peu dense, dans un milieu à la topographie relativement difficile. La vie s'articule principalement à proximité des cours d'eau, au fond des vallées dont les glaciers ont participé à façonner. L'homme ne s'aventure pas au-delà d'une certaine altitude et les sommets enneigés sont entourés de crainte et de respect. Dans son poème « Prélude », W. Wordsworth exprime cette inquiétude que la nature sauvage et hostile lui inspire :

« the immeasurable height
of woods decaying, never to be decayed,
the stationary blasts of waterfalls,
and in the narrow rent at every turn
winds thwarting winds, bewildered and forlorn,
the torrents shooting from the clear blue sky,
the rocks that muttered close upon our ears,
black drizzling crags that spake by the way-side
as if a voice in them, the sick sight
and giddy prospect of the raving stream,
the unfettered clouds and region of the heavens,
tumult and peace, the darkness and the light -

17 Wordsworth, William, *The Prelude*, book 6, in Thomas Hutchinson, *The poetical works of Wordsworth*, Kessinger publishing, 2007 (1805)

were all like workings of one mind, the features of the same face, blossoms upon one tree - characters of the great apocalypse, the types and symbols of eternity, of first, and last, and midst, and without end»

William Wordsworth¹⁷

f.7 Philip James De Louthembourg, *An Avalanche in the Alps*
Huile sur Toile
1803
110 x 1600 cm



18 Jakob, Michael. *Le Paysage*, 2013. p. 41

Dans la «wilderness» résonne encore le filtre religieux qui faisait de la nature «un domaine de perte», une «natura lapsa», une «nature marquée par la chute consubstantielle de l'homme»¹⁸. Pourtant, c'est à l'époque des lumières qu'apparaît l'ambivalence de la notion de nature.

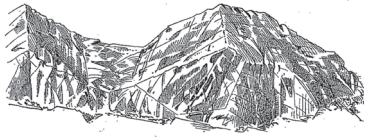
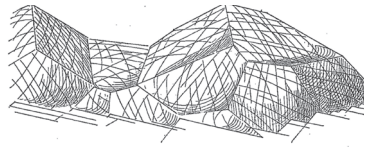
En 1761, soit près de 50 ans avant la publication du poème de Wordsworth, *La Nouvelle Heloise* de Jean-Jacques Rousseau s'inspire des Alpes pour proposer la nature sauvage comme «origine perdue de la civilisation»¹⁹. La nature paradoxale de la représentation du paysage alpin trouve écho dans la naissance du sentiment du sublime, théorisé par Emmanuel Kant, dans la *Critique de la faculté de juger*. D'après Kant, le sublime est un procédé de l'esprit par lequel l'homme se soustrait à la puissance incommensurable de la nature. Le sujet procède à un déplacement par la raison et se pose comme spectateur face à la nature. Libéré du danger de sa condition physique, la nature saurait alors provoquer en lui le sentiment de sublime, «en ce qu'il nous fait faire l'expérience sensible de notre liberté, cette dernière étant inversement proportionnelle ici à notre impuissance physique»²⁰. Le sublime contient en son essence l'ambivalence de la relation aux Alpes, fascinantes et terribles.

À la même époque, Viollet-le-Duc s'intéresse également au paysage alpin. Il tente de dépasser le paradoxe énoncé précédemment par la rationalisation des formations géologiques qu'il observe dans le massif du Mont Blanc. Sa démarche va au-delà du simple naturalisme, et son obstination reflète une attitude presque scientifique. Dans un premier temps, il essaie d'appréhender les règles géométriques qui seraient à la base de la formation des montagnes. Il procède à une sorte d'abstraction des cimes enneigées, dont les gravures et les écrits publiés dans l'ouvrage d'étude *Le massif du Mont Blanc*. Viollet-le-Duc ne décrit pas un ordre immuable, mais plutôt un gigantesque processus de ruines²¹ des blocs géologiques sous l'effet du gel, des infiltrations d'eau et de l'érosion de leur masse par les glaciers. À

19 Hache, Emilie, «Alpi, d'Armin Linke. Getting Back to the wrong Nature», *Science de la société*, 87, 2012, p117

20 *ibid*, p124

21 Viollet-le-Duc, Eugène Emmanuel. *Le massif du Mont Blanc: étude sur sa constitution géodésique et géologique, sur ses transformations et sur l'état ancien et moderne de ses glaciers*, Paris: Librairie Polytechnique, 1876 p. 12



36 bis. — Modifications opérées à un sommet. (P. 76.)

partir d'une étude morphologique systématique, il tente de reconstituer par la raison la forme originelle du massif et de déterminer un ordre géométrique constitutif du paysage alpin.

f.8 Viollet-le-Duc, Eugène Emmanuel, modification apportée à un sommet, dans *Le massif du Mont Blanc* (voir note 21)

« Analyser curieusement un groupe de montagnes, leur mode de formation et les causes de leur ruine; reconnaître l'ordre qui a présidé à leur soulèvement, les conditions de leur résistance et de leur durée au milieu des agents atmosphériques, noter la chronologie de leur histoire, c'est sur une plus grande échelle, se livrer à un travail méthodique d'analyse analogue à celui auquel s'astreint l'architecte praticien et

22 *ibid*, Introduction, p. XVI

archéologue qui établit ses déductions d'après l'étude des monuments »²².

À travers le dessin, l'architecte tente de comprendre et de rationaliser les éléments du paysage. Pourtant, sa démarche l'éloigne tout autant du paysage tel qu'il avait été défini précédemment. Il déplace la notion de paysage hors du domaine de l'humain, en le projetant à une échelle spatiale et temporelle que celui-ci ne peut atteindre — le temps géologique et le territoire à l'échelle continentale. Peut-être que la fascination de Viollet-le-Duc pour ce paysage s'explique finalement, comme chez Rousseau, par le désir d'un retour à la condition originelle de l'homme et de son environnement. Par la description scientifique de l'un des milieux les plus préservés d'Europe, il s'abstrait en quelque sorte de la définition donnée par John Brinckerhoff Jackson dans l'essai *À la découverte du paysage vernaculaire*, dans lequel l'auteur insiste qu'un « paysage n'est pas un élément naturel de l'environnement, mais un espace synthétique, un système artificiel d'espaces superposé à la surface de la Terre »²³.

23 Brinckerhoff-Jackson, John, Jean-Marc Besse, Gilles A. Tiberghien, et Xavier Carrère. *À la découverte du paysage vernaculaire*. Arles (Bouches-du-Rhône); Rennes (Ille-et-Vilaine): Actes Sud, 2003.

Vers une nouvelle subjectivité

Cette volonté de s'abstraire de la réalité synthétique du paysage trouve écho dans l'ensemble des représentations paysagères de l'époque. Il est aisé, lorsque l'on s'intéresse aux Alpes, de s'attarder simplement sur leur beauté spectaculaire. Rapidement la composante morphogéologique du paysage domine et les sentiments que leurs formes inspirent, prennent de l'importance. De purgatoire, leurs hautes aiguilles prennent le statut

de cathédrale. Les peintures romantiques de Caspar David Friedrich, et notamment le célèbre *Voyageur au-dessus de la mer de nuages*, participeront à la création de cet imaginaire célébré. Parallèlement à cette admiration émergente pour la nature vierge, l'industrialisation et l'urbanisation croissante remplacent les espaces naturels, progressivement construits et domestiqués. Le territoire suisse est bientôt strié d'une multitude d'infrastructures et les montagnes n'échappent pas aux profonds changements, que le monde construit est en train de vivre. Il est raisonnable de penser que la nostalgie affichée par les peintres et les architectes, lorsqu'il s'agit de représenter le paysage, n'est que réaction à la phagocytose de la condition naturelle par l'homme post-industriel.

À la fin du 19e siècle, Giovanni Segantini compose le triptyque des Alpes, une œuvre testament qui illustre les paradoxes induits de la représentation du milieu alpin. Les trois tableaux, *La vie*, *La nature* et *La mort* dépeignent trois paysages, à trois moments du cycle saisonnier. Dans ces tableaux, le premier plan est occupé par des activités agricoles. Des hommes, des femmes et des bêtes sont représentés dans leur labeur. L'arrière-plan montre les sommets enneigés qui ont jadis suscité l'effroi des habitants. Les tableaux suggèrent une dichotomie entre les activités humaines et la présence des grandes formations géologiques. Le territoire vallonné au premier plan est façonné par l'homme, ponctué de chemins, de pâturages, de champs et de modestes constructions. Le paysage proposé par le peintre ne ressemble

f.9 Giovanni Segantini, La nature, La vie, La mort (1897-99)
Huile sur toile
235 x 403 cm



ni au paysage sublime de Kant ni au «locus terribilis» religieux. La vision de Segantini dépasse le spectaculaire, le sublime et aussi la primauté de la morphologie, de l'élément topographique comme constitutif primaire du territoire. Les scènes que l'artiste offre à la contemplation sont paradoxales. La présence humaine est de nouveau un élément constitutif du paysage, qu'elle façonne pour se donner les moyens d'y habiter. Pourtant, il ne maîtrise pas la totalité de son environnement, puisque les montagnes distantes restent dans leurs conditions naturelles, comme protégées par un écran, symbole de forces naturelles incontrôlées. Les stigmates de la révolution industrielle sont absents de cet environnement isolé, et les grandes infrastructures construites

à cette époque n'ont pas encore atteint ces hauts plateaux. Le peintre cristallise un paysage partagé entre sa condition naturelle et une réorganisation spatiale par l'homme où le temps semble suspendu dans une symbiose entre nature et activités humaines. Il illustre héroïquement la nouvelle définition du paysage que propose Jackson à la fin de son essai : le paysage alpin est désormais une « composition d'espaces, faits ou modifiés par l'homme, pour servir d'infrastructure ou d'arrière-plan notre existence collective »²⁴, où demeurent quelques fragments de la condition naturelle.

24 Brinckerhoff-Jackson, John, Jean-Marc Besse, Gilles A. Tiberghien, et Xavier Carrère. *A la découverte du paysage vernaculaire*. Arles (Bouches-du-Rhône); Rennes (Ille-et-Vilaine): Actes Sud, 2003.

Les aléas naturels

Avec un certain décalage, le paysage alpin subira les mêmes mutations que l'ensemble du territoire. Le nouveau paradigme industriel ainsi que les difficultés topographiques naturelles du milieu engendrent la construction de grandes infrastructures qui facilitent le transit des biens et des personnes. Elles permettent le développement économique et l'exploitation des richesses de l'environnement. La production accélérée de biens et l'extraction de ressources, ainsi que la nécessité de les transporter rapidement sur de longues distances stimulent le besoin de nouvelles infrastructures. Par la suite, les progrès techniques donnent la possibilité physique de les concevoir et de les construire.

L'aménagement hydraulique des Alpes se développe également consécutivement à l'avènement de l'industrie, qui induit un changement de paradigme dans la relation à l'eau. Pendant la révolution industrielle « la croissance démographique, l'urbanisation [entraînent] une utilisation croissante des eaux, reléguant à l'arrière-plan la fonction de l'eau potable »²⁵. Parallèlement, plusieurs événements géologiques et climatiques remettent en question la condition naturelle de la rivière. En 1818, un premier événement marque l'histoire des rivières suisses. En 1817, la langue terminale du glacier du Gietro se détache et obstrue la vallée de la Dranse, en amont de Martigny. Plusieurs avalanches recouvrent par la suite les blocs de glace et cimentent le mur naturel. Le barrage empêche l'écoulement naturel des eaux entre le mont Pleureur et le mont de la Pierre à Vire. Très vite, un lac se forme et son niveau devient alarmant. Si le verrou de glace venait à céder, la vallée serait balayée par une crue soudaine et violente. L'ingénieur Venetz propose alors de creuser une galerie dans la glace afin de drainer les eaux du lac, avant que le verrou glaciaire ne se fragilise. Malgré les efforts, le 16 juin 1818 à 16 heures, Venetz entend « un éclat terrible qui annonce la rup-

25 Huizinga Johan, *L'automne du Moyen Age*, Paris 2015, 1ère édition 1919, p.25

26 Mariéthoz, Anne-Sylvie
«Chronique d'une débâcle
annoncée» p.19. dans *Giédro*
1818: la véritable histoire,
2018, p.65

ture»²⁶. Seulement un tiers des eaux avaient pu être drainées à travers la galerie. La débâcle ravage le paysage riverain de la Dranse jusqu'à Martigny puis se jette dans le Rhône, tuant 36 personnes. Plus généralement, le 19e siècle est marqué par une recrudescence des crues alluviales en Suisse. La plus violente, en octobre 1868, se produit à la suite d'un mois de septembre particulièrement pluvieux. À la fin du mois, les sols sont complètement saturés en eau. Une semaine plus tard, un second épisode de pluie record déverse plusieurs milliers de millimètres d'eau dans le Tessin, les Grisons et le canton de Saint-Gall. La plupart des cours d'eau débordent et inondent les bassins et les plaines. Les dégâts matériels et humains sont considérables. À l'époque, on attribue la responsabilité des grandes crues au mauvais état des forêts en altitudes. Dus à l'érosion, de plus en plus de matériaux sont charriés par les cours d'eau qui, sans retenue, s'écoulent dans les rivières, comblant progressivement leurs lits. On estime alors que la diminution du volume des lits abaisse le niveau de débordement des rivières.

L'infrastructure hydraulique

27 Walter, François, Jean
Steinauer, et Lorenzo Planzi.
*Paysages sous tension :
électricité et politique en
Suisse occidentale*, 2016
p. 21 « le principe appliqué
est qu'un cours d'eau ne
doit conserver qu'un seul lit
principal et n'a pas besoin
de tracés secondaires. Les
travaux visèrent à élargir et
à approfondir le lit principal
tout en stabilisant les
bergers par l'installations de
clayonnage ou de fascines. »

Dans l'imaginaire collectif, l'idée naît peu à peu de créer des infrastructures capables de limiter l'incidence des crues. Les lits des rivières sont élargis, bétonnés, rectifiés.²⁷ Le tracé naturel disparaît au profit de lignes rectilignes et rationnelles. Les rives, quant à elles, sont aménagées, construites, consolidées par des arbres qui rapidement, constituent un rideau opaque sur leur long. L'écoulement des eaux vives est, pour sa part, contrôlé par des barrages, des enrochements, des digues longitudinales insubmersibles. Si de tels dispositifs existaient déjà ponctuellement, leur implantation va se généraliser à l'ensemble du territoire suisse. Ainsi, « la crue est devenue une force contribuant à façonner le paysage et la société »²⁸. Parallèlement au redessin radical des cours d'eau vers la fin du 19e siècle, le développement du réseau électrique sur l'ensemble du territoire va redéfinir les besoins énergétiques. L'usage de l'énergie nouvelle se généralise en Suisse. La demande croissante des industriels et des particuliers motive la recherche pour trouver d'autres options pour produire de l'électricité. Les innovations s'orientent vers une nouvelle manière d'utiliser la force hydraulique, la transformation d'une force mécanique en une production électrique. Le perfectionnement des turbines hydrauliques pendant le siècle précédent la propulse comme une alternative crédible pour la production électrique à grande échelle. Ce changement de vision se répercute immédiatement sur le paysage l'homme ne se contente plus de rectifier le tracé des cours d'eau, mais les inter-

28 « 1868 - Les inondations
qui changèrent la Suisse »,
F.Isotta, M.Keiler, O.Martius,
M.Mesmer, R.Mulchi, L.Pan-
ziera, L.Pfister

rompt. Dès 1870, de grands murs de béton s'érigent perpendiculairement au cours des rivières et constituent les premiers réservoirs d'eau. Les zones humides et marais des campagnes sont remplacés par des lacs artificiels. La retenue fournit dans un premier temps de l'eau potable et une force motrice aux industries situées en aval. À l'aube du 20^e siècle, les premières centrales hydroélectriques voient le jour. Les barrages colonisent les campagnes vallonnées, les étendues horizontales herbeuses, jusqu'à s'implanter dans les vallées escarpées des Alpes.

La crise du concept de nature

Le mode d'implantation des infrastructures dans le paysage montagneux contemporain est selon Emilie Hache, lié à la crise écologique actuelle. Selon elle, « la crise écologique que nous traversons aujourd'hui est d'abord une crise du concept de nature. »²⁹. L'homme a désormais les moyens techniques de rationaliser les éléments primaires de son environnement. La révolution industrielle, à travers l'avènement de la machine, ouvre un champ infini de possibilités dans la modification de ce qui l'entoure. Les routes et les chemins de fers traversent le territoire, le bâti de l'industrie redéfinit l'échelle de l'architecture. L'incidence des aléas naturels se doit d'être limitée, le tracé des rivières rectifié, la force de l'eau canalisée. L'activité humaine intervient dorénavant profondément sur la permanence des cycles géologiques, biologiques et hydrologiques. À travers ces interventions, c'est l'essence même de la « condition naturelle » qui est déséquilibrée. Dans l'essai « à la découverte du paysage vernaculaire », l'auteur évoque un paysage originel, le « paysage-prototype (...) une idée première de paysage, dont tous ces paysages visibles ne seraient qu'autant de manifestations imparfaites »³⁰. Le paysage idéal se définit chez lui comme « un environnement où la permanence et le changement ont trouvé un juste équilibre »³¹. L'auteur semble envisager que le paysage est une construction cyclique dans laquelle des éléments disparaissent alors que d'autres demeurent. L'équilibre entre ces éléments permet au sujet de s'orienter dans ce paysage et de s'y identifier. La fabrique du paysage relève donc d'une attitude critique sur la pertinence d'un élément dans notre environnement. Cette structure en palimpseste a des corollaires multiples. Est-il encore possible de discerner les éléments synthétiques de ceux issus d'un processus naturel ? En outre, quelle prééminence existe-t-il entre les éléments artificiels et ceux issus d'un processus naturel ? Il semble qu'une des meilleures manières d'aborder ces questionnements est l'analyse du film documentaire *Alpi* d'Armin Linke. La structure narrative de

²⁹ Hache, Emilie « Alpi, d'Armin Linke. Getting Back to the wrong Nature », Science de la société, 87 2012, p.116

³⁰ Brinckerhoff-Jackson, John, Jean-Marc Besse, Gilles A. Tiberghien, et Xavier Carrère. *A la découverte du paysage vernaculaire*. Arles (Bouches-du-Rhône); Rennes (Ille-et-Vilaine): Actes Sud, 2003.

³¹ *ibid.*

l'œuvre consiste en une série de «tableaux» animés, représentant l'activité humaine dans les Alpes contemporaines. Linke filme des tests de modélisations climatiques en laboratoire, un rassemblement politique à Davos ou encore l'entraînement de policiers dans un bunker. Il donne à voir les Alpes comme un décor de cinéma pour un film de Bollywood ou comme un paysage à reproduire pour une station de ski artificielle. Il montre également un berger en montagne ou la présence massive du barrage de la Grande-Dixence dans le Valais. Contrairement à l'iconographie attendue dans un documentaire sur le territoire alpin, il ne donne jamais à voir le «paysage» spectaculaire vide d'activité humaine. Il offre au spectateur une constellation d'activités sociales, culturelles, politiques, industrielles, scientifiques, filmées de l'intérieur, au plus proche de l'acteur concerné. Comme le remarque Emilie Hache, Linke «esquisse un réseau»³². Il s'efforce de «faire sentir la complexité de l'écosystème constitué» et cela «sans chercher à en donner une totalité unifiée»³³. En condensant toutes les échelles du paysage, en confondant dans un même milieu, à la fois les sommets et les vallées, l'homme et la machine ou l'institution, il expose la réalité fragmentée du territoire des Alpes. Il établit en quelque sorte l'équilibre du paysage évoqué par J. Brinckerhoff Jackson, tout en insistant sur l'impossibilité de discerner le naturel de l'artificiel. Finalement, peut-être que la dichotomie entre le naturel et l'artifice n'est qu'une construction culturelle. Par exemple, un parc national protégé n'est rien d'autre qu'une «île» géographique, dessinée et définie par l'homme, dans laquelle des processus naturels se déroulent sous l'œil attentif de scientifiques et de touristes, nostalgiques de la condition originelle. Le barrage génère autour de lui l'une de ces «natures» provenant de l'homme, mais qui n'explicite pas clairement son essence? Le lac ressemble à tant d'autres lacs glaciaires, alors que l'écosystème local se doit d'adapter et atteindre un nouvel équilibre biologique. Bientôt, les indices de la présence de l'homme disparaissent et seule la vision du mur rappelle à notre esprit l'origine de ce paysage. L'ensemble de notre environnement est au moins partiellement artificiel et n'en demeure pas moins une «nature» dans une certaine mesure.

32 Hache, Emilie « Alpi, d'Armin Linke. Getting Back to the wrong Nature », Science de la société, 87 2012, p.116

33 ibid. p.117

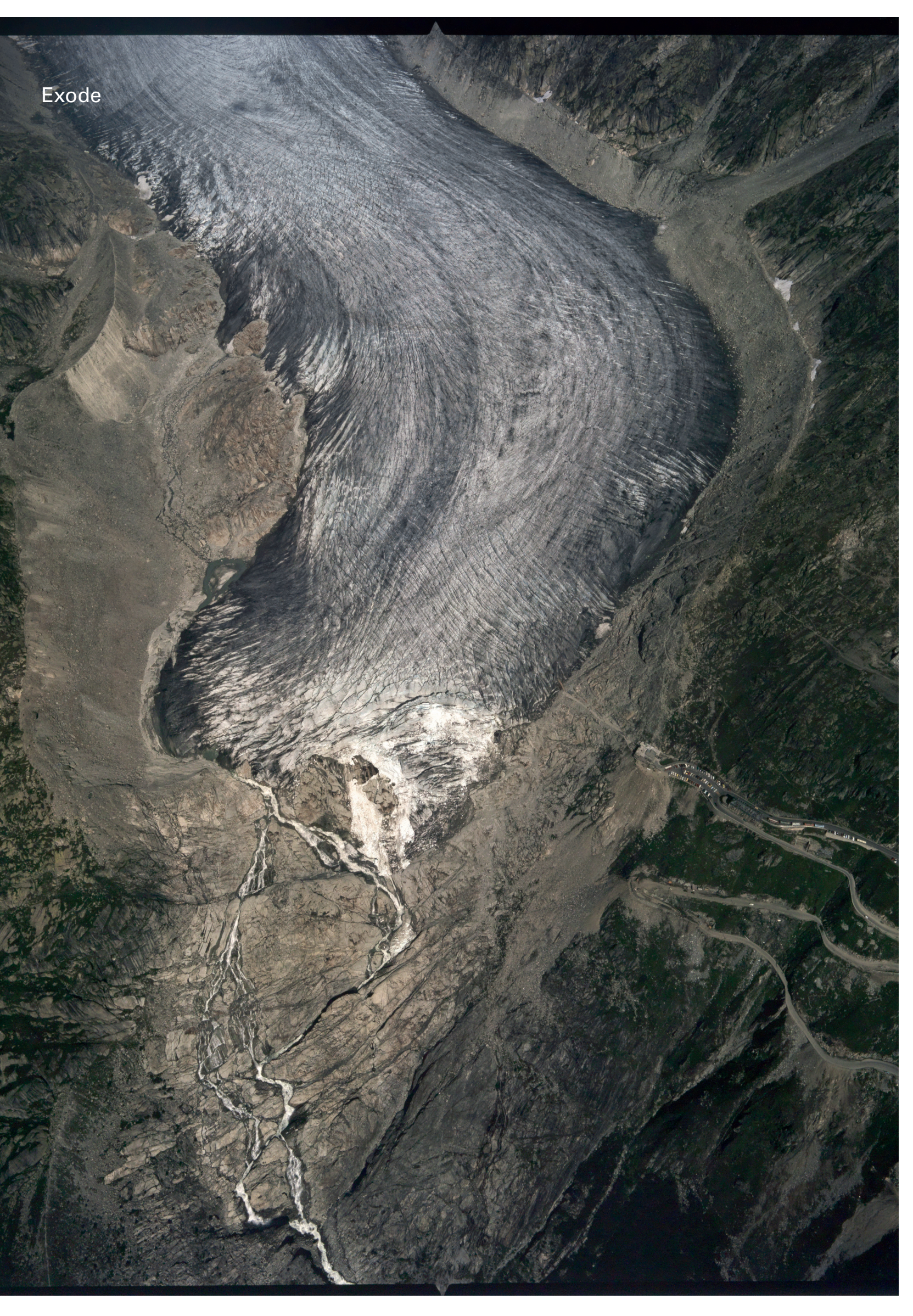
f.10 Armin Linke, Alpi, 2011. images extraites du film.



La permanence et le paysage

Ce constat, loin d'être pessimiste, replace simplement la question du paysage au centre des préoccupations humaines. La construction du barrage, comme l'ensemble des infrastructures implantées dans l'environnement délicat et fragmenté des Alpes, nécessite une forme de conscience du lieu et de la place du construit. Cette place est à la fois spatiale et temporelle et au-delà des caractéristiques primaires du site où le mur s'implante — principalement la morphologie et l'hydrologie — il doit prendre en compte la temporalité du lieu — les aléas naturels, la fonte des glaciers, le changement climatique. Les conditions culturelles et sociales doivent également faire l'objet d'une attention toute particulière. En d'autres termes, le barrage doit être pensé comme un invariant du paysage — dans la mesure où le déplacement de sa masse semble impossible. Il doit par conséquent intégrer dans sa création les conditions variables qui composent son environnement. Pourtant, les barrages ont été généralement conçus dans un but purement utilitaire. Ils sont pensés pour une efficacité maximale selon les conditions de l'instant où ils entrent en usage, mais cette méthode ne garantit en aucun cas leur permanence. Cette pérennité, qui est la capacité d'un objet à perdurer en tant que forme au-delà de son utilité première, est pourtant cruciale à l'établissement progressif du paysage « équilibré » et intelligible mentionné par J. Brinckerhoff Jackson. Au lieu d'envisager les Alpes comme un territoire qui transcende les échelles spatiales et temporelles, les montagnes ont été perçues au 20^e siècle comme un espace instantané, à l'échelle de la vie de l'homme. L'instantanéité désignerait ici, l'incapacité à se projeter dans le temps de manière pertinente et sensible. Il est possible que le barrage, en plus d'être un symbole de modernité, soit également la figure de proue de cette imminence. Ces premières réflexions sur la temporalité de l'infrastructure hydraulique trouveront écho dans la deuxième et la troisième partie de cette analyse.

Exode



À travers l'évolution du paysage, l'infrastructure est devenue un élément primaire du territoire qui tend à le rationaliser, l'orienter, le délimiter et lui donner une valeur culturelle et politique. L'épopée des grands barrages au 20^e siècle incarne alors une aspiration collective qui, à travers l'appropriation des grandes forces naturelles, imagine l'avènement d'une société électrique. À la fin du 19^e siècle, les progrès technologiques permettent pour la première fois de transporter l'électricité sur de longues distances. Parallèlement, la maîtrise progressive de la construction en béton permet d'envisager des projets de barrages de plus en plus ambitieux. Les vallées alpines, escarpées et dénuées d'habitations, semblent être la terre promise à leur multiplicité. L'infrastructure colonise peu à peu les territoires périphériques, altère l'essence des paysages alpins, par la construction de murs hors d'échelle. Elle modifie l'équilibre des paramètres géologiques et biologiques. En usant d'un regard détourné sur le barrage, il est possible de percevoir dans ces grands bouleversements territoriaux du siècle dernier certains questionnements qui dépassent le pragmatisme de la construction utile. Les travaux de Robert Smithson et d'autres artistes telluriens pourraient être un outil particulièrement pertinent pour analyser l'ensemble des images gravitant autour du barrage, bien qu'ils s'inscrivent chronologiquement vers la fin de la frénésie hydroélectrique. Il est bien question d'image et de représentation lorsque Smithson affirme que la « façade immobile incarne une immense grandeur et un immense pouvoir »¹ s'intéressant alors, plus au processus de construction et à « la forme de tels projets » qu'à la fonction. Au-delà de la réalité des infrastructures, il est plutôt fasciné « parce qu'elles suggèrent et évoquent », c'est-à-dire l'ensemble des images et analogie qu'elles éveillent. La seconde partie de cette étude s'attachera dans un premier temps à tisser des liens tan-

¹ Jack Flam, *Robert Smithson – The Collected Writings*, Reprint (Berkeley: University of California Press, 1996) p.95

gibles entre le rationalisme de la construction des barrages et les processus des œuvres telluriennes. Ces réflexions tenteront de définir le rapport au site, la mémoire du lieu, la question de l'échelle et du temps dans la construction des infrastructures. Le deuxième axe de la réflexion proposera un retour vers l'architecture et le paysage, la dialectique entre le barrage et le lieu ainsi que les qualités formelles et matérielles de l'ouvrage.

Le site

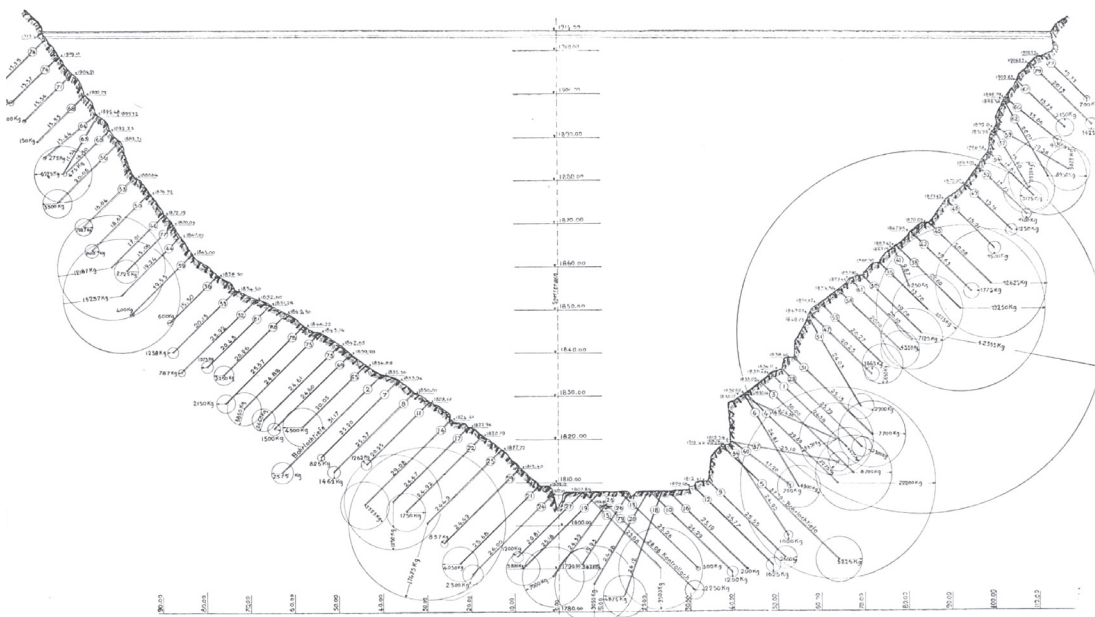
Le barrage alpin est une infrastructure qui se révèle par l'étude de son existence, cyclique. En d'autres termes, pour saisir son utilité, il s'agit de comprendre les forces entrelacées qui participent à sa construction, sa vie et sa ruine. La méthodologie envisagée considérera les cycles et les temps de son existence comme autant d'étapes autonomes participant de la création de l'infrastructure. Dès le début du 20^e siècle, le barrage a trouvé dans les vallées alpines, escarpées et dénuées d'habitations, la terre promise à leur multiplicité. La topographie naturelle des vallées glaciaires est propice à la création de grands lacs et l'accumulation d'importants volumes d'eau. Le retrait des glaciers a parfois dévoilé des lacs naturels. La plupart du temps, seul un cours d'eau demeurait au fond de la vallée, se frayant un passage sinueux entre les aspérités du terrain. Le site du barrage constitue le paramètre primaire dans la genèse de la forme. La création d'un réservoir nécessite la présence d'une cuvette géologique naturelle pour accueillir les eaux du lac artificiel. La morphologie des vallées de montagnes est usuellement révélatrice de la composition de la lithosphère². Les roches dures et compactes s'érodent plus lentement que les roches friables et peu denses. Les premières conservent plus longtemps la forme que les grands mouvements géologiques ont sculptée. Ce sont ces roches dures qui forment des resserrments caractéristiques dans les vallées. Malgré l'usure de la glace et de l'eau, ces blocs restent en place, parfois creusés de ravines et de gorges. Ces particularités rocheuses sont déterminantes dans l'emplacement du barrage pour plusieurs raisons. Elles assurent une surface de fondation solide et peu élastique, nécessaire à la pérennité d'un barrage. Ensuite, ces roches sont, en général, suffisamment étanches pour limiter les infiltrations d'eau. Enfin, la topographie naturelle permet de concevoir une forme qui implique un minimum de matière en réduisant la distance à couvrir par le mur de béton. Le potentiel d'accumulation est ainsi essentiel dans l'implantation du barrage³. Le bassin versant désigne un territoire

² Anton J. Schleiss et Henri Pougatsch, *Les barrages : du projet à la mise en service* (PPUR Presses polytechniques, 2011). p.143

³ Ibid, p.

géographique qui participe à l'alimentation d'un cours d'eau. C'est une surface topographique sur laquelle l'ensemble des eaux converge en un point qui détermine ainsi le volume d'eau confluant vers le réservoir. L'implantation du barrage dépend du volume de ruissellement dans le bassin versant, et la quantité de matière nécessaire au barrage.

La présence matérielle du barrage dans le paysage dépend d'un long travail préparatoire et de recherches conjointes et synchronisées. Le géologue est responsable de rassembler un corpus exhaustif de données du lieu afin de déterminer le plus précisément possible la composition des corps en présence, de même que la logique géologique du site. La connaissance des différents minerais présents sur le site est cruciale, dans la mesure où elle conditionne le positionnement de la structure et détermine les zones desquelles vont être extraits les matériaux de la masse de béton. Le géomètre doit déterminer la topographie exacte de l'ensemble du bassin naturel. La morphologie révélée du site permet d'envisager les dimensions et les limites du lac qui dépendent du tracé potentiel du mur. L'étude de la biosphère sur cette portion du territoire est également déterminante pour l'existence du barrage. L'ensemble de ces données permet de déterminer de manière scientifique s'il est possible de construire un barrage et, le cas échéant, l'emplacement idéal et la forme de celui-ci. Il incombe alors à l'ingénieur de considérer un éventail de possibilités hybrides et de procéder par élimination pour déterminer la solution la plus sûre, la plus pérenne et la plus économique. La forme idéale du barrage est la résultante pure de données factuelles concourantes. La condition du site est l'astreinte principale de la conception, ce qui fait du barrage une structure contextuelle, réagissant à des données physiques tangibles. Le premier temps du barrage s'achève. Ce temps d'existence est immatériel, impalpable, prénatal ; ce sont aussi les derniers instants de l'environnement naturel, lesquels ont conditionné sa morpho-



f.1 Barrage de la Spittalamm, Grimsel. Profil en long du voile normal et représentation schématique par cercles de la quantité de ciment absorbé par chaque forage. Entreprise « Svenska Diamantbergborrings Aktiebolaget »

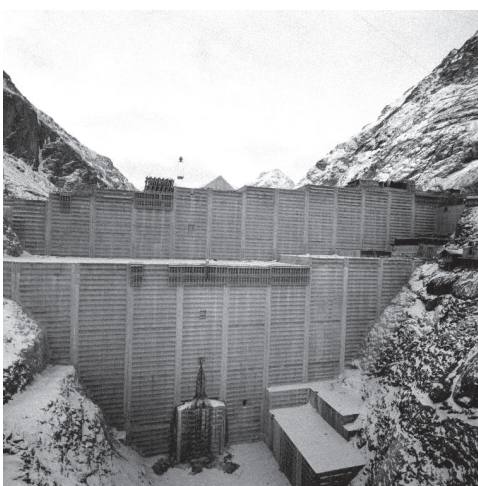
4 Jack Flam, *Robert Smithson – The Collected Writings*, Reprint (Berkeley : University of California Press, 1996) p.95

logie actuelle. Celui-ci s'évanouit au profit des premiers grands cycles du barrage et la matérialisation du projet. Smithson affirmait que « le processus sous-jacent à la construction d'un bâtiment banal, tel qu'un hangar de stockage pouvait être considéré par étapes, constituant ainsi une série d'œuvres d'art » et que les « relevés topographiques et les bâtiments préliminaires, à condition d'être considérés comme des étapes discrètes, peuvent [également] être vus comme une agrégation d'œuvres qui s'évanouissent à mesure qu'elles se concrétisent »⁴. En suivant ce raisonnement, l'arpentage géologique et topographique du site, mais aussi le chantier, constituent un ensemble d'œuvres collectives tombées dans un oubli relatif après la mise en fonctionnement du barrage.

La ville éphémère

5 Jakob, Michael. *Le Paysage*, 2013. p. 31

La représentation de la construction du barrage de la Grande-Dixence — filmée et narrée par Jean-Luc Godard en 1953 dans le film documentaire *Opération béton* — constitue l'une des « images-paysages »⁵ sédimentées dans notre imaginaire. Si les dimensions de l'ouvrage lui confèrent un statut particulier, la mise en œuvre de la Grande-Dixence peut être considérée comme archétypique de la construction d'un barrage. Le site a conditionné le premier temps du projet. Il a également défini le temps du chantier. La future retenue se situe à haute altitude, là où l'arrivée des premières neiges force le chantier à hiberner. L'isolement du site constitue également un enjeu complexe. Les ouvriers sont logés sur place, pendant les mois où le chantier doit avancer. Les matériaux doivent provenir du site dans la mesure du possible. En outre, la nature vierge et accidentée sera apprivoisée par de grands terrassements avant même le début des travaux. Dès l'arrivée du printemps, il n'y a « plus de place pour la rêverie »⁵ et bientôt la vallée d'Hérémente résonne de « l'éclatement de la pierre sous l'explosif et le vacarme des pelles mécaniques ». Le chantier commence par la mise en place d'infrastructures secondaires qui permettront sa construction. Une zone d'extraction est mise en place, dans le fond de la vallée, où le glacier s'est retiré. Là, « les plus puissantes machines labourent sans trêve les flancs des glaciers », car il faut « extraire chaque jour de la moraine au moins 15 000 tonnes de matériel brut ». Le béton du barrage est constitué de roches prélevées et broyées directement sur place, ensuite mélangées au ciment. « Le ciment, le voici qui se promène tout au long de la vallée avant de parvenir à la station d'arrivée » du téléphérique mis



en place dans ce but. C'est bientôt une petite ville industrielle qui voit le jour, nichée entre deux ravines ou en aval d'un glacier. Ce « village au sommet du monde » forme une sorte de « grand cœur métallique » où, d'après J. L. Godard, « des installations géantes sont agrippées à la pierre », où « comme par enchantement, ont surgi des laboratoires, des tours de béton, des téléphériques » et où les fameux blondins, dispositifs mobiles sur câble, permettent le coulage du béton en travers de la vallée. L'immense machine est composée d'un point fixe sur la rive gauche et de quatre « maisonnettes de cent vingt tonnes » sur la rive droite, « pouvant coulisser le long d'une rampe commune, ce qui leur permet de se déplacer dans tous les sens ». Ces blondins gravitant sur leur « mystérieuse toile d'araignée » permettent de couler les blocs de béton en tout point de la vallée. Les blocs, d'une vingtaine de mètres de long, séparés par des joints d'un à trois millimètres, sont disposés selon un ordre précis et déterminé pendant la phase précédant le chantier. Dans leur poste de commande, les manœuvres manipulent de grandes commandes en suivant les signes des ouvriers chargés de vibrer le béton une fois coulé. L'ensemble du chantier est un grand système vibrant au rythme des machines. De leur synchronisation dépend l'avancement de la construction. Ces processions incessantes de machines et d'hommes allient leurs forces dans la construction de ces pyramides utilitaire des Alpes. La ville éphémère ne vit que le temps de construction de l'infrastructure, et cela par intermittence, avant de se dissoudre progressivement. La cadence est élevée en raison des mois d'hiver pendant lesquels le chantier est gelé. Les ou-

f.2 Gerber, Hans : Val des Dix, Barrage de la Grande Dixence, Ville éphémère, Gare supérieure du téléphérique amenant le ciment de la vallée du Rhône au chantier. 1955

f.3 Gerber, Hans : Val des Dix, Barrage de la Grande Dixence, Ville éphémère, bâtiment de logement des ouvriers. 1955

f.4 Gerber, Hans : Val des Dix, Barrage de la Grande Dixence, Ville éphémère, usine de fabrication du béton. 1955

f.5 Gerber, Hans : Val des Dix, Barrage de la Grande Dixence, Ville éphémère, Avancement du mur de barrage. 1955

vriers se relaient ainsi dans un long marathon, parfois long d'une décennie. Les équipes se succèdent toutes les huit heures pour que le chantier ne s'arrête jamais. La ville se dote d'espaces de loisirs et de logements pour l'ensemble de ses acteurs. La force ouvrière est généralement composée d'étrangers, venus d'Italie ou de France pour des contrats saisonniers. À la fin du chantier, la plupart des éléments de la ville éphémère disparaissent. Les baraquements sont déconstruits, de même que les usines qui n'ont plus d'utilité. Seules les routes témoignent du théâtre de la vie de ces hommes qui ont œuvré à la construction du monstre de béton. Ce temps suspendu s'évanouit lors de la mise en fonctionnement du barrage et la disparition progressive de la ville éphémère et de ses habitants, bientôt remplacés par une foule de touristes venus rendre hommage à « l'œuvre de foi et de courage pour laquelle un millier d'hommes [ont vécu] en se donnant la main »⁷.

7 Godard, Jean-Luc *Opération Béton*, 1953

Le site transitoire

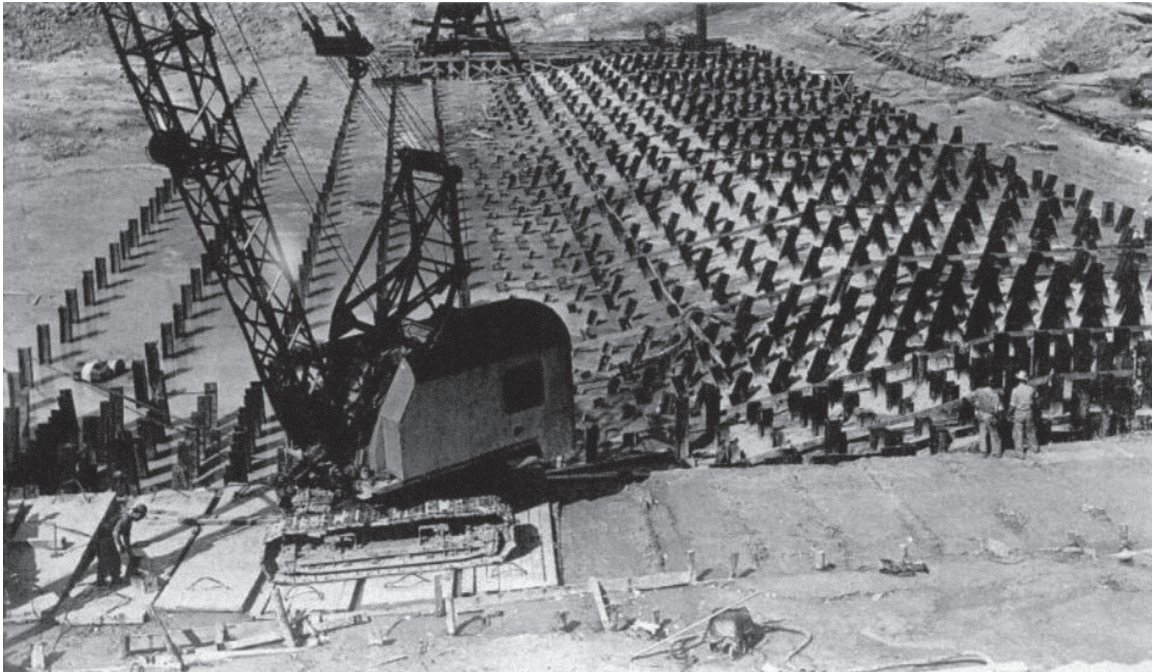
Bloc à bloc, le mur grandit, grand arrangement de granulats extraits d'une mine éphémère qui bientôt sera engloutie. Le barrage, par la proximité de l'extraction de la matière première, s'érige ainsi comme une réorganisation de molécules déjà présentes sur le site. Elles sont mélangées à des éléments étrangers, le ciment qui a voyagé depuis le fond de la vallée du Rhône, et se fixent temporairement sous la forme d'un béton de masse. Dans un processus quelque peu similaire, Smithson célébrait dans les années 1970 une périphérie anonyme et en constante mutation, à travers le prélèvement, l'analyse géologique et la recombinaison d'éléments qu'il trouvait sur un site précis, qu'il appelait non-site. Il transposait des fragments du site, « un espace non artistique »⁸ — mines, pistes désaffectées, carrières abandonnées — jusque dans un « espace artistique » — la galerie ou le musée. Les fragments, disposés de manière précise et accompagnés de texte et photographies, font référence au site et aux actions qui s'y sont déroulées de manière inconsciente. « Le non-site combine matériaux ouvrés (les containers), matériaux bruts (les pierres), photographie et texte en vue de la réunion purement mentale d'un ici et d'un ailleurs »⁹. L'artiste parlera d'un « dispositif centrifuge qui met l'accent sur le non visible ».

8 Gilles A. Tiberghien, *Land art*, Nouvelle éd. augmentée (Paris : Dominique Carré, 2012).

9 Jean-Pierre Criqui et al., éd., *Robert Smithson: mémoire et entropie* : actes du colloque, Centre Pompidou, 26-27 septembre 2013 (Dijon: les Presses du réel, 2018). p.43

10 Gilles A. Tiberghien, *Land art*, Nouvelle éd. augmentée (Paris: Dominique Carré, 2012) p.119

«Autrement dit, le non-site informe le site de deux façons : il lui donne une forme de par les conteneurs d'aspect minimaliste, et il fournit sur lui certaines informations au moyen de cartes.»¹⁰



f.6 Smithson, Robert
«Site-Selection» Fondation
d'un barrage, quelquepart
au Texas. « si on le regarde
comme une "scène auto-
nome", il apparaît comme
une œuvre d'art abstraite qui
disparaît en se construisant»
voir note 25 de l'apocalypse.

Le grand mélange de ciment et de moraine crée une forme site-specific contenue temporairement par le coffrage. Le barrage informe sur la nature primaire du lieu, il lui appartient tout en lui étant étranger. Il est tout à la fois le fruit du travail d'érosion du glacier (moraine), le travail de l'homme sur la matière (broyage des agrégats, mélange au ciment), et la synthèse formelle de l'ensemble des données du lieu. Le barrage qui petit à petit s'achève donne à contempler un paysage qui n'a plus grand-chose de naturel, « une périphérie abandonnée dans un non-lieu hors du temps »¹¹, en y générant une condition physique nouvelle. Mais quelle importance, dans la mesure ou « la nature, c'est simplement une autre de ces fictions du 18e ou du 19e. Une mine », expliquait l'artiste, « peut-être aussi naturelle qu'un paysage sauvage »¹². Pour lui, la condition naturelle n'est pour le paysage contemporain qu'un mythe accompagné de représentations tenaces.

11 Jean-Pierre Criqui et al., éd., *Robert Smithson: mémoire et entropie*: actes du colloque, Centre Pompidou, 26-27 septembre 2013 (Dijon: les Presses du réel, 2018) p.52

12 Jack Flam, *Robert Smithson – The Collected Writings*, Reprint (Berkeley: University of California Press, 1996) p.65

Le fonctionnement du barrage

La complétude de la forme fait irrémédiablement basculer le barrage dans un rationalisme fonctionnel qui estompe progressivement les fictions accompagnant sa construction. Robert Smithson, en observant l'élévation progressive du barrage de Pine Flat à Sacramento en Californie, déclara en ce sens que l'ouvrage non finito était en lui-même fascinant dans l'image du mur sans fonction ou dans l'abstraction des éléments de fondation dans le paysage. Pourtant, l'instant de sa mise en eau le soustrait au champ

13 Jack Flam, *Robert Smithson – The Collected Writings*, Reprint (Berkeley: University of California Press, 1996) p.53

de l'art et le replace dans le champ des « utilités »¹³. Arrivée à ce point de cette étude, l'analyse pragmatique de l'aspect fonctionnel du barrage devient désormais cruciale, afin de comprendre la raison d'être de ces grands murs. L'explication technique de la technologie hydraulique et géotechnique des barrages d'accumulation des Alpes permettra par la suite de dépasser la simple utilité de l'ouvrage et de le considérer comme un élément primaire du paysage alpin, introduit dans la genèse du barrage. En outre, l'étude de l'architecture du barrage dépasse généralement la simple considération de sa forme, car il semble qu'un corpus d'images et de représentations soit généralement associé à sa présence dans le paysage. Cette section de ce chapitre tentera brièvement de lier la radicalité de l'infrastructure au discours architectural du 20e siècle.

La mise en eau

La nature cyclique des grandes retenues est principalement basée sur le cycle annuel des saisons. L'ouvrage est achevé et la ville éphémère s'est évaporée doucement. Quelques installations demeurent en aval de la construction, mais leur présence est discrète et provisoire. Elles seules témoignent de l'effervescence qui a agité les flancs de la montagne pendant la dernière décennie. La rivière qui s'écoulait au fond de la vallée, détournée pendant la construction, voit désormais son lit interrompu par la masse de béton rectiligne. La mise en eau du barrage est un processus lent et progressif, pendant lequel les ingénieurs scrutent les réactions de la structure qui subit de nouvelles forces. L'ensemble des outils de mesure, disséminés dans la structure et aux alentours, entrent en action afin de percevoir le signe le plus infime d'un comportement imprévu. Trois paramètres sont évalués au cours de l'analyse : la pression exercée sur les blocs, le mouvement de ces blocs et la température du béton. Le système de mesure interne et externe à la structure est constitué de pendules verticaux, de thermomètres, de clinomètres, de repères de variation de longueur, de comparateurs, de déformètres, de dilatomètres et d'outils de triangulation¹⁴. L'usage de ces outils suit un protocole cyclique et prédéterminé, selon le type de barrage, particulièrement soutenu pendant la mise en eau du réservoir. Chaque structure nécessite, par la suite, la mise en place d'une planification spécifique des mesures, selon les sollicitations particulières de l'ouvrage. L'importance relative selon la fréquence et le type de mesure est également fonction du type de barrage. Il n'existe alors pas de méthode universelle pour surveiller le

14 Schweizerisches Nationalkomitee für Grosse Talsperren, Swiss National Committee on Large Dams, et Comité national suisse des grands barrages, *Comportement des grands barrages suisses = Behaviour of large swiss dams* (Berne: Comité National Suisse des Grands Barrages, 1964).



comportement de chacune des infrastructures hydrauliques. En règle générale, ces mesures sont réalisées de manière cyclique, à écart de temps défini et adapté aux variations saisonnières du remplissage¹⁵. La structure est d'autant plus surveillée que les sollicitations sont importantes, par exemple lorsque les températures sont extrêmes ou que le niveau d'eau est proche des maxima. Celle-ci est confrontée à un nombre non négligeable d'actions et d'événements. On peut citer trois types de charges variables principales¹⁶, conditionnant le dimensionnement primaire du barrage. La poussée de l'eau exerce

une force perpendiculaire au parement amont du barrage, égale à 10kN/m^3 et variable selon la hauteur d'eau. La poussée des sédiments, qui s'accumulent contre la surface de l'infrastructure, s'exerce à l'horizontale selon une répartition triangulaire. Enfin, la sous-pression exerce « une force hydrostatique importante active », tant à l'intérieur du barrage qu'au niveau des fondations. Elle correspond à la pression exercée par l'eau lorsqu'elle s'infiltre dans les espaces interstitiels d'un matériau, les pores du béton ou les fissures dans la roche. La structure est également impactée par les variations de température du béton, les pressions d'écoulement des eaux de percolation (érosion due à l'écoulement d'eau dans un matériau par gravité), les pressions interstitielles, la neige et la poussée de la glace. La complexité du système statique des infrastructures hydrauliques, les dimensions des ouvrages et la variabilité des paramètres du site justifient l'attitude sécuritaire qui entoure ces constructions. En outre, l'infinie variation des situations nécessite de considérer chaque infrastructure comme un prototype, dont l'expression reste néanmoins séculaire.

La mise en eau s'achève lorsque le lac atteint son niveau maximal. L'opération dure parfois plusieurs années, au cours desquelles le territoire en amont du mur est peu à peu englouti. Les zones d'excavation disparaissent sous une masse opaque d'eau laiteuse. D'anciennes infrastructures étaient parfois présentes dans ces vallées : d'anciens ponts, barrages ou routes. Parfois, ce sont des villages entiers qui disparaissent sous les eaux, avec leurs monuments, leur identité, leurs ancêtres. Le barrage de Schiffenen sur la Sarine a provoqué, lors de son remplissage, la disparition de la petite cité thermale. À Emosson, c'est l'ancien barrage de Barberine qui se trouve sous les eaux de

f.7 Hensler, Karl, 2000
Les deux documents précédents tentent de rendre visible le changement d'un paysage sur 90 ans. En partant d'une photographie de 1910 qu'il retouche largement (renforcement de la netteté), Karl Hensler offre un plan d'ensemble de la partie haute de la vallée de la Sihl avant le barrage. Dans la seconde image, datant de 2000, Robert Rosenberg recherche le même point de vue que celui de la photographie de 1910. Le lac a rempli la vallée, les anciennes maisons ont été détruites et d'autres ont été construites. Le changement du paysage devient très visible.

15 Anton J. Schleiss et Henri Pougatsch, *Les barrages : du projet à la mise en service* (PPUR Presses polytechniques, 2011), p.85

16 *ibid.* p.189

17 Armelle Faure, « Des normes sociales pour les déplacements de population causés par les grands barrages. France, XXe siècle: L'exemple des barrages de Tignes et Serre-Ponçon dans les Alpes et les barrages de L'Aigle et Bort-les-Organes dans la Haute-Dordogne », Revue de géographie alpine, n° 96-1 (15 mars 2008): 15-28

la nouvelle retenue, en plus de l'ancien hameau qui se trouvait là. Le barrage de la Dixence est lui aussi englouti sous les millions de litres d'eau du réservoir de sa « grande sœur », achevée en 1961. Dans les Alpes françaises, le remplissage du réservoir de Tignes¹⁷ engloutit entièrement l'ancien village. En aval du mur, la rivière n'est plus qu'un mince filet d'eau blanche, dirigée par une conduite d'acier vers un lit trop vaste pour elle, rappelant sa splendeur des printemps passés. En amont, le drame de l'engloutissement fige à jamais une vallée sous une épaisse couche de sédiments, charriés par la fonte des glaciers et les eaux pluviales. Atlantide oubliée, ce paysage réapparaît grisâtre lors des grandes vidanges du réservoir. Au moment où les barrages prenaient vie, la charge affective se manifestait fortement lorsque les villageois démunis de leur logement assistaient à la mise en eau de l'ouvrage. Cet événement se déroulait selon une série de rites durant lesquels le religieux était très présent. Lors de ce moment intime mais festif, se déployaient les fanfares, suivies de l'ensemble du village avec toutes les générations et corps de métier. Cette étape importante dans la vie du barrage était marquante pour la population dépouillée de ses terres et de ses biens. À sa manière, le barrage provoque un autre type de procession conséquente pour les habitants qui doivent s'approprier un nouveau lieu de vie. La représentation du barrage en tant que monstre était renforcée par les cortèges religieux et les prières que faisaient les hommes d'Église pour bénir la masse d'eau et l'élever comme « réserve d'énergie physique », selon les mots de l'évêque Monseigneur Charrière. La dimension religieuse était essentielle dans ce processus, car elle permettait aux bannis de se réconcilier avec l'ouvrage et de faire le deuil de leurs biens perdus, afin de les accompagner dans leur quête d'une nouvelle terre promise. En effet, les relations sociales développées au cours des siècles sont désagrégées par l'édification du monstre et beaucoup de temps est nécessaire aux habitants pour qu'ils retrouvent leur identité dans un nouvel environnement. Le barrage était entouré de mythes et de croyance lors de ses premières manifestations dans le territoire. Les villages de montagne, isolés des villes, étaient baignés de légendes et de croyances populaires. Lors de la construction des barrages, ces mythes païens étaient exacerbés par l'arrivée d'un monstre inconnu — le barrage — mettant en scène la force de la nature avec une grande intensité. À Marmorera¹⁸, il fut envisagé de couler une dalle de béton sur le cimetière du village, afin d'éviter que les morts enterrés ne viennent hanter les vivants. Le béton devait servir de rempart contre les âmes qui pourraient s'échapper du cimetière submergé. Finalement, les dépouilles sont exhumées une à une et déplacées dans un nouveau cimetière, près du nouveau village. Aujourd'hui, ce lieu de mémoire fait le lien entre le village originel disparu et le présent, monument commémorant l'histoire du hameau. L'aspect religieux a joué un rôle notable

18 « Symboles du disparu et mémoire collective - Vallées disparues - nouveaux paysages : histoire(s) des barrages en Suisse », consulté le 5 Novembre 2019, <http://www.verschwendene-taeler.ch/fr/verschwendene-taeler/Symbole-des-Verschwendenen-und-kollektive-Erinnerung.html>.

dans le déplacement de la population et de ses défunts ; jusqu'au dernier moment, l'église de Marmorera accueille ses fidèles pour commémorer la perte d'un village et préparer la transition vers un nouveau lieu. La construction du barrage de Rossens sur le lac de Gruyère est également entourée de superstition. Dans la préparation du béton, les ouvriers ont prélevé de la matière dans une zone où avaient été enterrées des victimes de la peste noire. A leur insu, des fragments d'os empestés se sont ensuite retrouvés dans la masse du barrage. Depuis, les croyances affirment que les âmes des victimes viennent troubler le calme des habitants dans les environs du barrage pour faire payer les hommes venus troubler leur sommeil éternel.

Le cycle de l'infrastructure

Le barrage peut être simplement défini comme un grand mur qui permet l'accumulation cyclique d'un large volume d'eau, en limitant l'écoulement naturel des eaux d'un bassin versant. Au lendemain de la mise en eau, lorsque la structure a démontré sa stabilité et sa résistance aux actions extérieures, le cycle de production énergétique peut débuter. La principale difficulté de la production énergétique est généralement le stockage de l'énergie. Il est toujours aisé de produire de l'électricité, mais il est très difficile de la conserver si l'on n'en fait pas un usage immédiat. C'est pourquoi les centrales à charbon ou les centrales nucléaires produisent de l'énergie en continu, avec un taux de variation faible. Les infrastructures solaires et éoliennes sont quant à elles sujettes aux fluctuations des vents et à l'ensoleillement. A contrario, les barrages à accumulation sont conçus dans le but d'emmagasiner un grand volume d'eau dans leur réservoir, permettant de générer de l'électricité en cas de nécessité. La fonte des neiges accumulées durant l'hiver sur les versants des montagnes marque le commencement du cycle annuel du barrage. Le volume d'eau dans le réservoir est à son point le plus bas de l'année, la vallée est marquée horizontalement par le niveau haut de l'eau. En deçà de cette ligne, les versants arborent la teinte grisâtre des alluvions. L'eau ruisselle en torrents et converge vers le fond du lac, se débarrassant de la couche glaciaire qui le dissimule durant l'hiver. Le niveau d'eau monte imperceptiblement entre avril et décembre. À l'origine, les réservoirs accumulaient l'eau qui ruisselait naturellement le long des bassins versants. Par la suite, de grandes conduites furent percées en travers des montagnes, afin de capter les eaux ruisselant dans les vallées adjacentes. Ces prises d'eau artificielles conduisent l'eau à tra-

vers des conduites en acier, des aqueducs invisibles, pour se déverser ensuite dans les lacs de retenue, comme une source jaillissant des roches claires. Le bassin de captage s'étend par delà des lignes de crêtes au moyen d'un réseau tentaculaire qui supprime le système linéaire originel et transcende les limites topographiques et administratives du territoire. Le barrage-remblai de Mattmark¹⁹, construit entre 1954 et 1967, accumule les eaux d'une dizaine de bassins versants situés à proximité de la vallée de Saas (Allalinbach, Furggbach, Hohlaubbach, Feevispe, Riedbach, Schweibbach, Triffbach, Fällbach, Almagellerbach). Le bassin de captage s'étend ainsi sur 170 km² entre Zermatt et le Fletschhorn. Entre avril et décembre, lorsque la demande en électricité est faible, le barrage emmagasine un volume maximal d'eau, à la manière d'un immense accumulateur. En novembre, lorsque le lac atteint le volume maximal dimensionné, les forces exercées sur la structure culminent également. Dans le cas de barrages-voûtes et poids, le couronnement se déplace parfois vers l'aval sous la pression de l'eau et des sédiments, parfois jusqu'à une dizaine de centimètres. C'est à cette période que les infiltrations au travers de la structure sont les plus importantes. Dès le début de l'hiver, lorsque les besoins énergétiques augmentent, les vannes des conduites s'ouvrent et dirigent l'eau vers les centrales électriques en aval de la retenue. Les colonnes d'eau traversent verticalement les roches et acheminent l'eau sous pression jusqu'aux turbines, dont la rotation axiale va générer l'électricité. La puissance productive de la centrale dépend de la hauteur de chute de l'eau, c'est-à-dire la différence d'altitude entre la surface du réservoir et celle du point bas de la colonne d'eau. Afin d'optimiser la production électrique, les retenues sont généralement en réseau linéaire et l'eau est turbinée successivement par paliers. À 2197 m d'altitude, les eaux accumulées à mesure de l'année dans le Mattmarksee, s'engouffrent dans la première conduite horizontale à un débit de 19m³/s, avant d'atteindre une première colonne d'eau de 459 m de hauteur. En aval de cette colonne, les eaux sont turbinées à la centrale de Zermeiggern (1738 m), d'une puissance potentielle de 74000 kW par l'intermédiaire de deux turbines « Francis » de 37000 W chacune. Les eaux sont turbinées une seconde fois à la Kraftwerk Saas-Fee, développant une puissance de 1500 kW. Elles sont ensuite acheminées sur une distance de 16.4 km, vers la deuxième colonne d'eau, et subissent une seconde chute de 1029 m de haut, vers la centrale de Stalden (709 m) dans la vallée du Rhône. La puissance développée par les quatre turbines Pelton de la centrale, après des kilomètres de chute, est de 160'000 kW. À la suite de ce triple turbinage, les eaux sont dirigées vers le Rhône, plusieurs centaines de mètres en aval de la centrale. Les infrastructures hydrauliques qui alimentent le barrage-voûte d'Emosson constituent peut-être l'exemple le plus intéressant sur les implications de l'expansion des bassins de captage en



f.8 Barrage de Mattmark, Valais. Le barrage accumule l'eau de l'ensemble des bassins versants visibles sur la photo.

termes géopolitique²⁰, engendré par la grande hydraulique. Le complexe est composé de deux retenues approvisionnées à l'origine par le bassin versant de la Barberine s'étendant sur 34 km² entre la France et la Suisse. Le barrage de la Barberine est complété dans les années 1950 avec la construction légèrement en amont du barrage du vieux Emosson. Au cours des années 1970, le barrage de Barberine est finalement submergé par les eaux du nouveau barrage d'Emosson. Le complexe peut désormais accumuler quelque 227 millions de mètres cubes d'eaux provenant de l'ensemble des massifs qui entoure l'infrastructure. Les eaux du Val Ferret, du Trient, de la Planereuse et de la Saleina convergent vers le collecteur est. Au nord, la fonte des glaciers du Prazon et du Ruand se déverse dans le réservoir. À l'ouest d'Emosson, les bassins de L'Eau du Bérard se déversent à leur tour dans la grande retenue après avoir serpenté entre les roches des aiguilles Rouges. Le collecteur Sud se déploie directement en dessous du glacier d'Argentière²¹. Là, de nombreux puits de captage ont été percés à la verticale afin de récupérer les eaux issues du ruissellement sous l'épaisse couche de glace du glacier. Les dizaines de puits approvisionnent la conduite principale par intermittence dans la mesure où il est extrêmement difficile de prévoir précisément l'écoulement naturel dû à la fonte d'un glacier. Le barrage fait face à l'imposante Aiguille d'Argentière, nichée entre deux épaules rocheuses vertigineuses. La deuxième retenue la plus importante de Suisse, du haut de ses 177 mètres, domine au sud le vallon de Vallorcine à l'emplacement exact de l'ancienne frontière entre la France et la Suisse. Le tracé originel de la frontière a ainsi dû être modifié afin de permettre à la structure de se construire intégralement en territoire Suisse. Le traité relatif à l'échange de terres entre la France et la Suisse signé en 1963

20 « Les raines tentaculaires du barrage d'Emosson - Le Temps », consulté le 10 Octobre 2019, <https://www.letemps.ch/suisse/racines-tentaculaires-barrage-emosson>.

21 Jean-Louis Mottier, « L'aménagement hydro-électrique franco-suisse d'Emosson », 1970, <https://doi.org/10.5169/SEALS-70868>.

induit un droit de la France sur un certain volume des eaux du Léman en cas de nécessité. D'un point de vue énergétique, le traité stipule un partage équitable de l'électricité générée aux centrales françaises et Suisse de Vallorcine et de la Batiаз à Martigny.

Le cycle du barrage est lié à un ensemble de facteurs hydrologiques, économiques et énergétiques. L'accumulation est fonction des précipitations et de la température, alors que la fréquence de turbinage dépend de la demande sur le marché de l'électricité. Ce dernier paramètre dépend, quant à lui, de la consommation générale d'électricité sur le réseau, mais aussi de l'apport d'autres sources d'énergie. Le système repose sur la faible variance théorique de l'apport en eau entre chaque année, afin de permettre au barrage de fonctionner dans les conditions optimales pour lesquelles il a été dimensionné. Cependant, la complexité des relations entre ces paramètres a pour conséquence une variabilité effective non négligeable, exacerbée dans certains cas par les effets du réchauffement climatique. Il est dès lors capital de maintenir les installations en bon état, pour mitiger les écarts liés à l'évolution de ces paramètres. Aussi, les structures sont surveillées et entretenues afin d'optimiser leur fonctionnement au fur et à mesure de leur usure. Il est important de préciser que pour l'exploitant du barrage, un comportement prévisible et stable d'un cycle à l'autre facilite sa gestion et optimise son fonctionnement.

La sécurité du barrage

La maintenance de l'ouvrage consiste à s'assurer de la sûreté et du bon fonctionnement du barrage. La plupart des grands barrages suisses ayant été construits entre 1930 et 1970, il est crucial de garantir la stabilité de la structure et des matériaux après une telle durée d'utilisation. Dans la mesure où la plupart des sites propices à la construction d'un barrage accueillent déjà l'une de ces pyramides utilitaires, les opérations de maintenance sur des ouvrages existants sont bien plus nombreuses que l'investissement dans de nouveaux sites. La structure est confrontée à des actions prévisibles à long terme, ainsi qu'à des sollicitations non prévisibles, généralement à court terme. Les sollicitations sur les fondations de l'ouvrage sont les plus observées, car l'assise du barrage est garante de la stabilité de l'ensemble. Le concept de sécurité repose sur trois piliers : la sécurité structurelle, la surveillance et l'entretien, et le plan en cas d'urgence. Le barrage est en ce sens une structure paradoxale ; malgré les énormes masses de béton qui composent l'ensemble,



f.9 Barrage de Zeuzier, Valais.

il compte parmi les structures les plus surveillées de l'environnement construit. Ce paradoxe s'explique en partie par l'énergie potentielle accumulée dans le réservoir. Le volume d'eau retenu par le gigantesque mur de béton dépasse l'échelle usuelle de la construction. Le vaste jardin décrit par Smithson²² est visible de l'espace et la mise en perspective du lac avec les montagnes qui l'entourent fait brusquement prendre conscience de l'enjeu. L'architecture des barrages comprend deux dispositifs structurels primaires qui participent à sa sécurité. Le premier dispositif — la vidange de fond — est invisible, car disposé par essence sous le niveau d'eau minimal. Sur le parement amont du mur, une réserve circulaire est ménagée près de sa base. Cette prise d'eau

²² Jack Flam, *Robert Smithson – The Collected Writings*, Reprint (Berkeley: University of California Press, 1996) p.58

23 G Lombardi, « Les tassements exceptionnels au barrage de Zeuzier », Société Suisse de mécanique des sols et des roches, 1988.

traverse la structure de part et d'autre et permet l'abaissement du niveau d'eau ou la vidange totale si l'intégrité structurelle de la structure est menacée. Elle permet également la mise en eau progressive du barrage évoquée précédemment. L'exemple du barrage de Zeuzier²³, qui à l'automne 1978, dut être vidé en urgence, illustre l'importance de ces dispositifs. C'est un barrage-voûte de 156 m de haut, construit de 1954 à 1957 sur la Lienne, modeste cours d'eau alpin qui rejoint la vallée du Rhône aux alentours de Sion. En 1978, le massif rocheux sur lequel est fondé le barrage présente un comportement atypique. Quelques mois auparavant, l'aménagement d'une galerie, en vue de la construction d'un tunnel routier reliant le canton de Berne à celui du Valais, avait été entrepris. Située 400 m en aval, à une distance d'environ 1.5 km, la galerie avait drainé soudainement de grands volumes d'eau, par le biais de petites failles dans le calcaire du massif. Instantanément, un tassement important du verrou rocheux au droit du barrage fut noté. Devant l'importance des déformations, le réservoir fut entièrement vidé, afin de stabiliser la structure du barrage. La vidange de fond permit de déverser l'eau en aval et de diminuer rapidement les sollicitations de l'eau et des sédiments sur le barrage. Le second dispositif de sécurité — l'évacuateur de crue — permet d'éviter le débordement des eaux en cas de crue, par écoulement naturel au long d'une structure. Ce dispositif est généralement visible et participe à l'expression de l'ouvrage. Bien entendu, son rôle principal est d'être efficace et son dimensionnement est défini pour permettre un usage optimal, malgré les débris charriés par les fortes crues. Les dispositifs de mesure décrits précédemment participent également à l'entretien des grands barrages. Les blocs de béton composant la structure sont réalisés à partir d'un béton de masse de faible qualité et ne tolèrent que très peu les efforts de traction ou de cisaillement. L'ensemble des outils de mesure permet de déceler précisément un comportement anormal, qui mettrait en péril l'intégrité structurelle de l'ensemble. Les risques sont identifiés en deux catégories : certains événements sont identifiables — anomalies dans le comportement, glissements, crues — alors que certains relèvent de l'imprévisible — séisme, sabotage, conflit armé. Certaines mesures préventives, comme l'assainissement de la structure ou l'abaissement du niveau d'eau, peuvent suffire à garantir la sûreté de la population exposée au risque en aval du barrage. La mesure ultime implique une évacuation totale de la population. La radicalité de cette décision est à la mesure de la rareté d'une telle situation.

La matérialité de l'objet

L'odyssée des barrages au 20^e siècle s'est largement appuyée sur le développement d'un matériau nouveau, dont la flexibilité a permis de s'adapter à l'ensemble des topographies accidentées des Alpes. Le béton est symbole de modernité. Au cours du 20^e siècle les innovations techniques s'enchaînent et transforment les vies de leurs usagers²⁴. Le béton marque un tournant dans ces vies, à la fois comme vecteur de changements sociaux, mais surtout comme élément de représentation des hommes et de leur vie. Les bouleversements industriels et technologiques affectent la nature et la modifient. La transformation de la nature est au cœur du processus — on développe la bio-ingénierie, les antibiotiques, le procédé de combustion. Le processus de synthèse de béton est en ce sens similaire. C'est un procédé humain qui, à partir d'éléments naturels, combinés les uns avec les autres, fabrique un nouveau matériau. Outre l'ambition de transformer la nature, le béton a surtout altéré les hommes et leurs relations aux autres. À ce titre, le béton a souvent provoqué de vives réactions. On rejette cette modernité qui suscite l'inconfort, en particulier en raison des brusques mutations sociales qui l'accompagnent. Pourtant, les réactions face à l'arrivée du béton n'ont pas été unilatéralement hostiles. En Suisse, il a été bien accepté, car la population a accueilli la modernité facilement en prenant avantage de tout ce qu'elle avait à présenter. C'est pour cela qu'il n'y a jamais eu de volonté particulière à vouloir déguiser le béton pour le dissimuler ; il était souvent laissé à nu. Le béton a beau avoir été capable d'offrir tout un panel d'innovations en termes de confort, d'hygiène et d'efficacité. Néanmoins, il reste à l'origine de la disparition de savoirs-faire traditionnels et artisanaux liés à une culture sociale profondément ancrée²⁵. De plus, le procédé de production initié par des chimistes industriels renforce l'image moderniste du béton. Cette image embellie de modernité ne reflète pourtant pas les techniques spéculatives et empiriques qui l'entourent. Le béton est une succession d'expériences fructueuses ou ratées. Finalement, le processus est résolument « non-moderne », ou du moins en décalage avec l'imaginaire qui l'entoure. Ainsi, il se rapproche fortement du pisé, dans sa conception, ses origines telluriques et l'expression du matériau²⁶. Le béton présente cette ambivalence lorsqu'il donne l'apparence d'une technologie avancée régie par des principes chimiques et mécaniques alors que sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de compétences très développées. Cette image associée au barrage, il émerge alors une tension entre un objet titanesque, symbole de modernité du 20^e siècle et un matériau qui, au contraire, n'y est pas associé dans l'absolu lorsqu'il est décortiqué. Le barrage est une infrastructure technique de par son échelle et l'intensité de son rapport à la nature.

24 Forty, Adrian. *Concrete and Culture : A Material History*. London : Reaktion Books, 2012. p.14. « Concrete tells us what it means to be modern. It is not just that the lives of people in the twentieth century were transformed by, amongst other things, concrete — as they undeniably were — but that how they saw those changes was, in part, the outcome of the way they were represented in concrete. »

25 *ibid.*, p.14 : « And while the social and physical transformations offered by concrete, as by many other twentieth century innovations, promised to benefit mankind, each has also destroyed old ways of doing things, old craft skills, older forms of social relations, and has a result always aroused some resistance. Concrete is no stranger to this ambivalence, and the objections and hostility that attach to it are no less a part of its modernity than all the many benefits it has brought. »

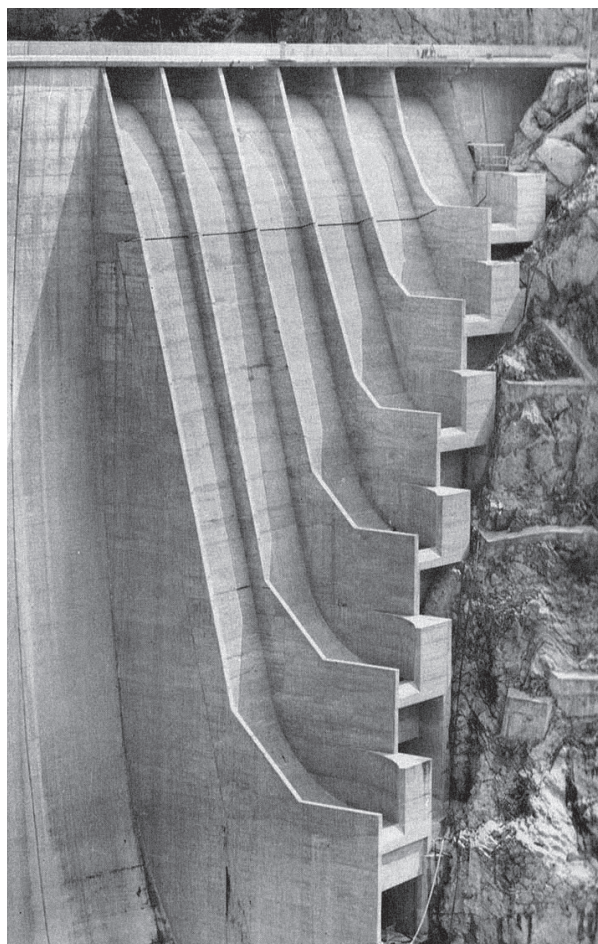
26 *ibid.*, p.28 : « However, the designation of concrete as 'modern' was always fragile, always open to question and constantly in need of refreshment. Concrete's inherent backwardness, its earthbound origins in the peasant process of pisé, is never far away, and always ready to reclaim it back from the engineers and technicians. »

De là apparaît un paradoxe entre un objet fonctionnel et utilitaire qui se doit d'être rigoureux et précis, au vu des dangers qu'il génère, et le béton dont l'utilisation à cette échelle est régit par des lois empiriques. Lorsqu'un barrage est soumis à la pression exercée par l'eau derrière lui, il arrive que des mouvements beaucoup trop importants au niveau du couronnement se produisent ou que des infiltrations d'eau surviennent. Lors de la construction de ces monstres, des tuyaux ont été prévus pour injecter du béton en cas de fuite. À d'autres moments, on procède à la fabrication de confortements pour stabiliser des zones devenues fragiles suite à un joint qui n'est plus perméable par exemple, comme dans le cas du barrage des Toules²⁷ dans le Valais à partir de 2008.

27 Henri Gicot, « Le barrage coupole des Toules: sa conception et son comportement », 1965, <https://doi.org/10.5169/SEALS-68291>.

Le béton, de par sa fabrication et son perfectionnement, a la capacité de résister à la nature et en ce sens, il fournit la force de résistance pour que l'homme y résiste également. Grâce au béton, l'homme a eu la capacité de maîtriser l'eau dans des proportions qu'il n'avait jamais pu faire auparavant par le biais d'infrastructures hydrauliques. En amoncelant derrière lui une telle masse d'eau, l'homme prend une nouvelle fois le contrôle de l'eau, et ce, à une échelle territoriale. Malheureusement, en tant qu'objet empirique, certains accidents ont eu lieu durant le siècle précédent lorsque le béton n'a pas su résister à la pression de l'eau, comme si la nature tentait de reprendre les droits que l'homme lui a rognés, malgré tous les dispositifs mis en place

f.10 Barrage de Contra, val Verzasca, Tessin. La photographie montre une partie de l'évacuateur de crue du barrage-voute. De chaque côté du barrage, deux évacuateurs de crues symétriques dramatise le débordement de la structure par l'eau.



pour prévenir les accidents. Les évacuateurs de crue sont des déversoirs, des éléments techniques, avant tout essentiels dans le dégorgeement du bassin de rétention quand le niveau augmente inopinément, lors de crues par exemple. C'est l'un des seuls systèmes pouvant assurer la sécurité des barrages. Toutefois, malgré la notion utilitaire très forte et leur nécessité indéniable, ils apparaissent souvent comme les seuls éléments architecturaux sur les barrages. En effet, ils sont tous différents et soigneusement dessinés, comme s'ils ajoutaient un élément identitaire particulier à chaque ouvrage. La créativité des ingénieurs a engendré tout un catalogue d'évacuateurs avec

différentes typologies. Toutes ces typologies sont régies par le débit et spécifiquement calculées afin d'optimiser leur fonctionnement. Certains sont « détachés » du mur, d'autres sont intégrés directement, mais tous participent à leur façon au langage formel du barrage. De plus, ils répondent aux dimensions du barrage dans une scénographie monumentale composée de divers éléments qui deviennent architecturaux. Le déversoir du barrage de Muttsee, à son pied, semble comme l'entrée d'un temple ou d'une pyramide. Au sol, une dalle qui crée un seuil. Sur les côtés, deux murs encadrent le passage de l'eau, et orientent le regard vers le parement aval incliné du barrage. Deux lignes de plots, destinés à « briser » la vitesse de l'eau, semblent créer un chemin qui longe le barrage, surplombé par l'ombre du couronnement. À leur manière, tous ces dispositifs mettent en scène l'eau en surplus, souvent de manière majestueuse. Alors que le rationalisme moderne a eu cet intérêt de quantifier tout objet dans le but de le rendre techniquement efficace, les déversoirs apportent une once de vie à ces monstres silencieux. Orchestrés par la pression, l'eau et le déversoir du barrage se mêlent torrentiellement pour finir leur chant en contrebass.

L'objet dans le paysage

La mise en scène de l'eau à travers le déversoir induit un rapport intense avec l'objet lui-même et le lieu dans lequel cela se produit. Cette parade fluide s'apparente de manière semblable à une performance artistique temporaire, qui se déroule à travers le barrage. En s'appuyant sur la définition du lieu de Carl Andre à propos des œuvres de land art, on peut imaginer le lieu comme « un endroit (*area*) dans un environnement, qui a été altéré de manière à rendre l'environnement général plus perceptible. Tout chose est un environnement, mais un lieu est plus particulièrement en rapport avec à la fois les qualités générales de l'environnement et les qualités particulières de l'œuvre. »²⁸ il apparaît clair que la puissance du comportement de l'eau conditionne et « altère » l'environnement du barrage, le rendant « lieu », au même titre que le lieu d'une œuvre. Ainsi, c'est l'œuvre qui fait prendre conscience des spécificités du lieu, tout en le liant au processus personnel de l'artiste. Tiberghien estime pour sa part que le site ne précède pas l'œuvre, mais que l'œuvre le constitue et lui donne son identité²⁹. La dynamique du paysage, par les éléments et les matériaux propres au lieu, devient une des composantes essentielles à l'existence de l'œuvre. La relation au site est difficile à caractériser puisqu'elle diffère d'un artiste à

²⁸ Gilles A. Tiberghien, *Land art*, Nouvelle éd. augmentée (Paris: Dominique Carré, 2012). p.134

²⁹ *ibid.* p.102

f.11 Barrage de Muttsee, Glaris. La photographie montre une partie de l'évacuateur de crue du barrage poids. Le mur lateral contourne une roche et brise la force de l'eau deversée.



30 Gilles A. Tiberghien, *Land art*, Nouvelle éd. augmentée (Paris: Dominique Carré, 2012). p.

31 *ibid.* p.

l'autre. Certains accordent de l'importance à l'histoire, la symbolique, la géologie ou à l'érosion potentielle d'un lieu. L'ingénieur, de son côté, tâche de rassembler le plus de données, afin que la conception de l'infrastructure soit cohérente avec la réalité physique. Pourtant dans les deux cas, il faut rappeler la primauté de la perception sur la conception. D'après Smithson, « la recherche d'un site consiste à en extraire les concepts à partir de données sensibles au moyen de perceptions directes » et dans cette logique, « on n'impose pas le site, on l'expose »³⁰. Conjointement, c'est l'œuvre réalisée in situ qui donne une signification particulière, une unicité et une identité morphologique et symbolique, à un site. En somme, « si l'œuvre se comprend dans son lieu, le lieu, inversement, se comprend par elle, y trouve un sens nouveau. »³¹ Les montagnes, plus spécifiquement, sont les plus grandes formes naturelles à la surface de la Terre. Si le désert de l'ouest des États-Unis fut le lieu privilégié des premières expérimentations du land art, les montagnes ont plus tard constitué, en particulier pour Heizer, une source d'inspiration inépuisable. En définitive, c'est en revenant vers le lieu même du barrage, dans sa relation au territoire, que l'on soulève la question de la représentation de l'œuvre. Le lieu, ponctué par le paysage dans lequel il se déroule, prend vie à travers le narratif du barrage. Cette manière d'observer les environs du barrage s'oppose à un schéma de pensée primaire selon lequel la masse de béton telle une forme pure, prend toute sa dimension en se confrontant à un milieu très brut. Comprendre le lieu comme un moyen de rendre visible ce qui n'est pas *lui* renvoie aux réflexions dialectiques que va entreprendre Smithson dans son travail.

Ces constructions antinomiques, l'environnement brut et

sauvage, et le mur prismatique du barrage pur et abstrait, font naître de leur rencontre un ensemble d'images dont la portée dépasse l'ouvrage d'art ou la nature seule. Par l'introduction d'une nouvelle réalité, rationnelle, lisse et radicale dans un ensemble disparate, hétérogène, il se crée un moment particulier dans l'espace-temps; le lieu concentre un ensemble de contradictions interdépendantes qu'il semble impossible de franchir du premier regard. La combinaison de ces éléments hétérogènes réunis dans un même environnement fut définie par Smithson comme un « paysage dialectique »³², un paysage fait de contradictions. Selon l'artiste, ces oppositions ne sont pas liées à la disparité de la nature — ou encore aux contrastes inhérents entre construction et destruction humaine et naturelle —, mais selon lui, cette dialectique naît de la dynamique des éléments constitutifs d'un paysage, qui s'oppose au formalisme moderniste. Smithson ne dissocie jamais le paysage et le caractère évolutif, d'où sa théorie sur la finitude de l'objet : « Les parcs d'Olmsted existent avant d'être finis, ce qui veut dire, en fait, qu'ils ne le sont jamais; ils restent porteurs d'imprévu et de contradiction à tous les niveaux de l'activité humaine, qu'elle soit sociale, politique ou naturelle »³³. Le barrage est une construction qui compose une dialectique par l'ensemble des phases qui définissent sa vie et sa mort autant que le contraste physique avec la nature qui l'entoure.

L'œuvre tellurique ne s'arrête pas à son aspect physique, mais prend également en compte le caractère processionnel pour l'atteindre. Pour les artistes de land art, l'œuvre, ou plutôt le lieu, se visite, se vit, s'apprécie sensiblement par la perception physique du site. Pourtant, les artistes ne rendent pas cette tâche facile en isolant l'œuvre si loin du circuit traditionnel de l'art par le biais d'une galerie ou d'un musée. Le voyage demande au visiteur une implication personnelle, à la fois physique et mentale. Analogiquement, le barrage, comme nous l'avons exposé plus tôt, constitue la barrière du construit des Alpes; au-delà, seules quelques constructions subsistent isolées. La route puis l'ascension vers le couronnement d'un barrage peuvent se révéler ardues tant dans sa visite que dans son élaboration. D'autant plus que du barrage se dégage tout un imaginaire collectif, peuplé de mythes et de légendes. Cette source fantasmagorique s'exerce aussi à travers le lieu dans lequel le barrage règne, car sa construction a permis l'entrée vers des sites qui autrefois n'étaient pas accessibles. De la sorte, il offre de nouvelles perspectives paysagères d'une manière artificielle.

32 Robert Smithson, « Frederick Law Olmsted et le paysage dialectique », in Robert Smithson : le paysage entropique 1960-1973, s. d.

33 *ibid.*

L'imaginaire du barrage

L'architecture du barrage a été une source d'inspiration abondante notamment pour les architectes radicaux italiens dans la deuxième moitié du 20e siècle. L'épopée héroïque des grands barrages et leur lutte contre les éléments nourrissent l'imaginaire d'une génération entière au lendemain de la Seconde Guerre mondiale. À l'aube des années 1970, les architectes radicaux de Superstudio s'approprient le romantisme de l'image de l'Atlantide et de l'engloutissement pour proposer une vision iconoclaste de la ville de Florence submergée par les eaux. À travers l'usage de la métaphore architecturale et du « demonstrato per absurdum »³⁴, les membres du groupe fondé par Adolfo Natalini, envisagent un ensemble de stratégies radicales destinées au « sauvetage » des centres-ville historiques de l'Italie en réaction au conservatisme culturel exacerbé de Camillo Boito et Gustavo Giovannoni. Ceux-ci affirment que la préservation du patrimoine culturel bâti de l'Italie implique de figer le bâti dans sa forme actuelle, mais ne peuvent s'entendre sur la valorisation stratégique de ces richesses historiques. En réaction à la monétisation évidente de l'héritage culturel italien, Superstudio envisage la construction d'un grand barrage sur la rivière Arno qui inonderait Florence. Si le barrage n'apparaît pas dans la représentation du projet, le lac de retenue intervient comme une disruption dans la spatialité urbaine. L'eau devient l'élément sélectif de la valeur des monuments de la ville où, seuls les rescapés du déluge, quelques fragments architecturaux, dépassent de l'eau. La coupole de Brunelleschi se détache de la surface, telle une île artificielle et singulière qui émerge d'une étendue miroitante. L'infrastructure hydraulique devient alors le moyen de « protéger dans le but de détruire, détruire dans le but de se sauver »³⁵, locution polémique

34 Allais, Lucia. «Disaster as Experiment: Superstudio's Radical Preservation.» Log, no. 22 (2011): 125-29

35 Superstudio, « Salvataggi di centri storici italiani » in In. Argomenti e immagini di design 5 Mai-Juin 1972 : 4-13

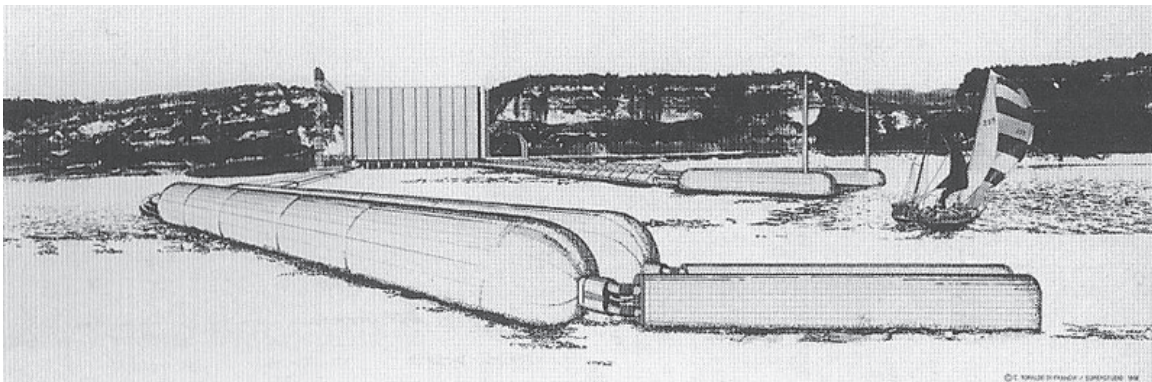
f.12 Superstudio, illustration pour «Salvataggi di centri storici italiani», 1972. Sauvetage de la ville de Florence par la construction d'un barrage sur la rivière Arno, en aval de la ville historique. La ville submergée, le bateau devient l'unique moyen de visiter les vestiges qui dépassent de la surface. Natalini évoque ironiquement la possibilité de visiter les vestiges sous l'eau en sous-marin



sur laquelle s'ouvre le projet de « sauvetage des centres-ville italiens » (1971-72).

La vision proposée par Superstudio s'approprie les paradoxes du barrage. Il incarne une technologie puissante, ayant la capacité de barrer les forces de la nature et ainsi de figer à la fois le temps et l'espace, métaphoriquement. Il est à la fois la création d'une situation artificielle — un lac — et la possibilité d'une condition anachronique — le lac qui occupait la vallée à une époque révolue. Ce double visage est l'essence du projet « Macchina per le vacanze », imaginé en 1967 par Cristiano Toraldo di Francia, qui envisage la forme du barrage dans un contexte différent. L'architecte adresse le problème de l'instabilité hydrogéologique de la côte Calabraise sans proposer de solution utopique. Au contraire, il utilise le programme de la station balnéaire, destinée au tourisme de masse dans son projet. Le projet, qui adopte la forme du barrage, se niche dans une cavité érodée. Formellement, il reconstitue la verticalité disparue, tout en proposant des solutions techniques afin de limiter l'érosion riveraine en Méditerranée. Le courant est contrôlé par le bâtiment-machine, qui produit de l'électricité alors que des bouées gonflables réduisent les effets des vagues sur les formations géologiques. À nouveau, le barrage permet d'accéder métaphoriquement à une condition disparue, à savoir la continuité de la falaise côtière. Dans ce cas, le barrage se dilate afin d'accueillir en son sein une diversité de programmes touristiques. Le projet est pure enveloppe et contient anonymement une multitude de machines qui servent les différents programmes — énergie, atmosphère, température, humidité. La forme devient un monument à une nature disparue, tout en célébrant l'avènement d'une société technologique. Elle est une reconstitution technomorphique et nostalgique d'une condition originelle disparue.

La représentation des barrages exposée par les membres de Superstudio insiste sur la capacité de la forme à générer une réalité alternative, qui condense en un moment précis plusieurs situations passées et présentes. Comme précisé plus tôt, la ville inondée est la rencontre d'un âge géologique écoulé, du classicisme monumental et de la société contemporaine. De même, la station balnéaire de Di Francia à Tropea est la collision de la forme cristalline — avant son érosion partielle — et de la tech-



f.13 Cristiano Toraldo di Francia, « Macchina per le vacanze », projet de diplôme, 1967

nologie au sein de l'enveloppe. Au-delà de ces considérations, les projets convergent dans la mise en place — métaphorique — d'un ordre nouveau sur le territoire. Le barrage sur l'Arno offre une surface continue et isotrope, ponctuée par le surgissement de fragments monumentaux. L'horizon est de nouveau visible alors que l'ordre territorial est rétabli et simplifié par l'élévation du niveau de référence. De même, la grande enveloppe de la machine à vacances donne une continuité morphologique à la géologie côtière, à la manière du barrage alpin, pour rétablir la forme de la roche avant l'érosion de la glace et de l'eau. Le mur de béton délimite en quelque sorte le « domaine de l'homme » en aval et organise la nature en amont par la création de lacs — de la surface et du périmètre. L'analogie formelle et territoriale entre les barrages de Superstudio et les grands barrages alpins renvoie plus généralement aux grandes infrastructures territoriales, des aqueducs au mur d'Hadrien, de la grande muraille aux autoroutes du 20e siècle. Pour Antoine Picon, ces grandes infrastructures ont la « capacité, une fois qu'elle existe dans le territoire, de compléter la nature harmonieusement, tout en révélant certaines qualités de celle-ci jusqu'alors invisibles »³⁶ Dans un « monde rendu uniforme par la technologie, la culture et toutes les autres formes d'impérialisme »³⁷, l'infrastructure constitue donc une émergence, un « événement », qui a la responsabilité d'une part de sublimer la nature qui l'entoure et d'autre part d'induire un

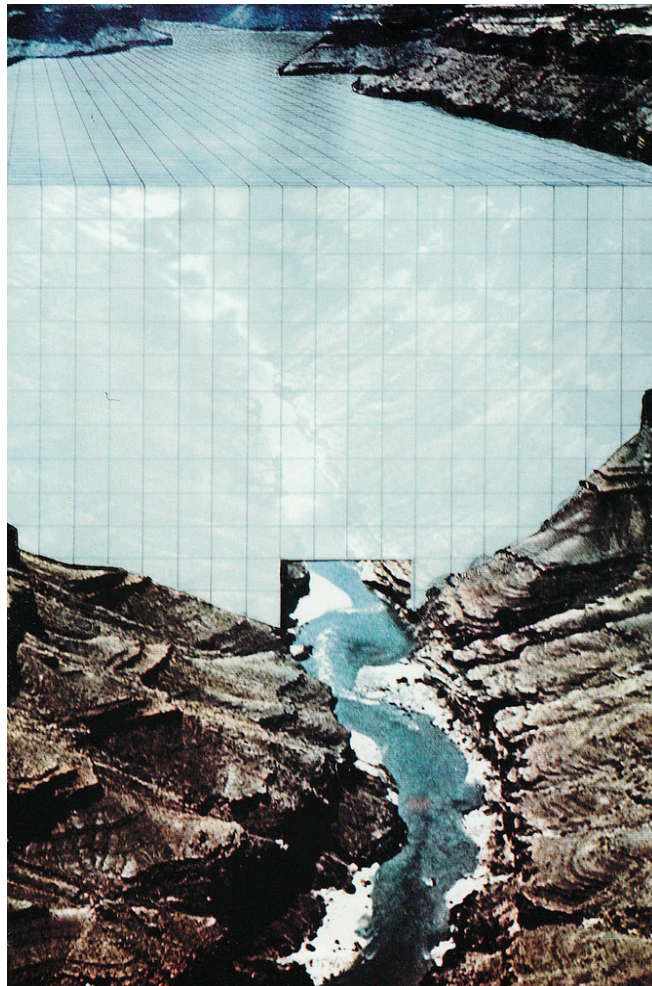
ordre rationnel à la surface de la Terre.

36 Picon, Antoine "Urban Infrastructure, Imagination and Politics", in *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 42, n° 2, March 2018, pp. 263–275

37 Superstudio, « The Continuous Monument: An Architectural Model for Total Urbanization, » *Design Quarterly* 89 [special issue on Mindscapes, 1973

f.14 Superstudio, « Monumento Continuo », 1969 Superstudio propose une déclinaison du monument continu. La volume abstrait s'insère dans une vallée rocheuse et escarpée. La surface de verre se plie pour épouser la topographie, alors que la façade frontale s'ouvre par un pertuis pour ménager un passage à la rivière en contrebas. Le monument célèbre le passage de l'eau, tout en proposant une analogie formelle au glacier qui a jadis creusé la vallée.

38 [Typescript, 1969 Superstudio, *Opere, 1966–1978* (Macerata, Quodlibet, 2016) 192–193] dans Pino Bruggellis et al., éd., *Radical utopias, Habitat 16* (Macerata: Quodlibet, 2017). p.225



« For those like us who are convinced that architecture is one of the few means to make the cosmic order visible on earth, to create order among things, and above all to affirm the human ability to act according to reason, it is moderate utopia to hypothesize a near future in which all the architecture is produced by a single act, by a single design capable of clarifying, the reasons that drove man to raise dolmens, menhirs, pyramids, to design square, circular, stellar cities, and lastly to trace a white line in the desert »³⁸

Superstudio propose en ce sens le monument continu, qui repose sur « l'idée d'un projet unique, un projet qui peut-être transporté tout en demeurant fidèle à lui-même, changeant d'échelle ou d'espace sémantique sans traumatisme »³⁹. Le projet imaginé à l'occasion de la biennale de Graz en 1969 sur le thème de « l'architecture et la liberté », gravite autour de l'idéal du monolithe comme architecture métaphorique, capable d'établir un ordre sur le monde, à l'échelle de la planète. Il prend la forme ubiquitaire du prisme et s'enveloppe d'une façade de verre, matérialité archétypique du gratte-ciel et de la modernité. Le monument s'étire vers l'horizon, uniforme et indifférent à la topographie qu'il franchit. Superstudio représente le monument continu au milieu des montagnes, traversant les déserts, élevé au-dessus de l'eau et de la ville. Cette utopie « sarcastique bien que lucide » célèbre la pure enveloppe, le contenant par excellence qui reflète son environnement sans rien révéler de la nature technologique de ses entrailles. La technique se camoufle au profit d'une expression architecturale « aussi décisive que [le monolithe] de l'Odyssée de l'Espace de Stanley Kubrick »⁴⁰

39 Pino Bruggellis et al., éd., *Radical utopias*, Habitat 16 (Macerata: Quodlibet, 2017), p.219

40 *ibid.*

Le monument

Pourrait-on imaginer que le barrage puisse représenter, dans une certaine mesure, la matérialisation d'un idéal proche de l'architecture du monument continu ? Il semble simpliste d'imaginer qu'un ouvrage pragmatique et utilitaire, tel que l'infrastructure hydraulique construite uniquement à des fins d'utilité, puisse résonner avec les utopies radicales des années 1960 et 1970. Pourtant, plusieurs éléments semblent converger en ce sens. Dans ce raisonnement, il est surtout nécessaire de dépasser l'analogie formelle entre la pyramide utile et le monument de Superstudio.

La construction du barrage se base finalement sur un catalogue de peu de formes qu'il s'agit ensuite d'adapter spécifiquement au site dans le dimensionnement — le triangle extrudé du barrage-poids, la double courbure du barrage-voûte ou la pyramide affaissée de la digue. L'expression formelle de sa structure n'est ainsi pas sans rappeler le prisme radical proposé par les architectes florentins et son « design unique » qui transcende les caractéristiques du site. Le barrage et le monument continu convergent dans la nature de leur contenu. La technologie — prise dans la masse, limitée par l'enveloppe — sert d'infrastructure à la société dans les deux cas. Le barrage s'érige comme support énergétique d'un territoire alpin aux activités multiples,

41 [Typescript, 1969 Superstudio, Opere, 1966–1978 (Macerata, Quodlibet, 2016) 192–193] dans Pino Bruggellis et al., éd., *Radical utopias*, Habitat 16 (Macerata : Quodlibet, 2017). p.225

42 *ibid.*

43 Pino Bruggellis et al., éd., *Radical utopias*, Habitat 16 (Macerata : Quodlibet, 2017). p.219

44 Giedion, S. *Architecture, you and me; the diary of a development*. Cambridge : Harvard University Press, 1958].

45 Rossi, Aldo et Brun, Françoise, *L'architecture de la ville* (Gollion : Infolio, 2016). p.57

46 Rosellini, Anna, *Robert Smithson et la nature du béton: ruin in reverse, de-architected project*, *Concrete Pour*, vol. 12 (Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 2015) p.151

47 Giedion, S. *Architecture, you and me; the diary of a development*. Cambridge : Harvard University Press, 1958].

là où le monument continu devient l'infrastructure unique nécessaire à l'homme contemporain — l'environnement climatisé et contrôlé par la machine. L'un comme l'autre effacent les « mirages » des « architectures sans architecte »⁴¹. Leur forme résulte de la raison seule, entre disruption et ordonnance de leur territoire. Enfin, l'échelle qu'ils représentent ne s'adresse plus seulement à l'homme comme individu, mais à une masse humaine qui ne cesse de grandir. C'est finalement dans ce dernier constat qu'il semble possible de dépasser la simple analogie formelle. Pour Superstudio, « l'acte primaire » du bloc reposant sur le sol « témoigne d'une architecture relationnelle entre la technologie, le sacré et l'utilitaire ; il souligne l'homme, la machine, la structure rationnelle et l'histoire »⁴². Le monument continu est ainsi, l'ultime tentative de « l'architecture pour se trouver une place dans la modernité »⁴³, alors que celle-ci semblait jusqu'ici incapable de répondre aux défis sociaux du 20^e siècle. Superstudio semble affirmer que l'échec de la modernité se trouve dans son incapacité à produire un monument qui, comme le rappellent Giedion, Leger et Sert, « est seulement possible dans une période où il existe une unité de culture et une unité de conscience »⁴⁴. Pour ces derniers, « les monuments sont les points de repère que les hommes ont créés pour symboliser leurs idéaux, leurs objectifs et leurs actions ». Si le 19^e siècle est le siècle de l'industrie, peut-être qu'il est possible d'envisager le 20^e siècle comme celui de l'énergie. Tel un temple de l'électricité élevé à partir du matériau nouveau, le barrage incarne alors certainement les idéaux de la modernité du début du 20^e siècle. Il est la promesse du progrès, de la maîtrise de la nature, d'une symbiose de l'homme et de la machine. S'il est un monument, le barrage est un monument déplacé, rejeté vers les limites de notre monde. Il symbolise en ce sens l'urbanisation au 20^e siècle, l'avènement de la périphérie et l'ère de la nature artificielle. Les barrages sont des reliquats de la ville, des fragments détachés de la machine urbaine. Projetés hors de celle-ci, ils constituent pourtant le support énergétique qui lui prodiguent l'énergie nécessaire d'une manière élégante et silencieuse. Les colonnes d'eau, la centrale et les lignes à haute tension sont les « persistances du tracé »⁴⁵ qui lie les différents « faits » de cette périphérie urbaine. Les barrages constituent peut-être les limites du « réseau géologique en béton fait par l'homme »⁴⁶ décrit par Robert Smithson. À l'instar des colonnes d'Hercule, le barrage matérialise à travers ses hautes murailles de béton, les limites symboliques de la civilisation et protège des aléas provenant des sommets.

Les deux premières parties de l'analyse convergent désormais vers l'aspect temporel de la structure. Toujours selon Giedion, Leger et Sert, le monument est un « héritage » qui « crée un lien entre le passé et le présent »⁴⁷. En d'autres termes, le monument informe sur le temps qui l'a vu naître, comme l'œuvre d'art. Finalement, créer ce lien entre passé et présent implique que l'ar-

chitecte ou l'artiste qui crée le monument soit visionnaire. Il doit comprendre les problématiques culturelles de ses contemporains et les transmettre à travers la forme. Selon Aldo Rossi, la persistance de cette forme définit la permanence d'un monument. En prenant l'exemple du Palazzo della Ragione à Padoue, il insiste :

« La permanence ici ne signifie pas seulement qu'avec ce monument vous expérimentez encore la forme du passé, mais que la forme physique du passé a assumé des fonctions différentes et qu'elle a continué de fonctionner en conditionnant cet environnement urbain dont elle est encore aujourd'hui un foyer important ». ⁴⁸

48 Rossi, Aldo et Brun, Françoise, *L'architecture de la ville* (Gollion: Infolio, 2016). p.58

Le barrage dans sa forme actuelle n'est pas une architecture destinée à la permanence. En effet, la spécificité de sa forme le condamne à exécuter les fonctions auxquelles il est destiné, jusqu'à ce qu'il devienne trop cher pour étendre son utilisation. Les dernières années ont mis en exergue les faiblesses d'un système dont la complexité est parfois synonyme d'instabilité chronique. Le barrage se retrouve à la croisée des difficultés économiques, des enjeux politiques et sociaux et des inquiétudes écologiques croissantes. Doit-on d'ores et déjà envisager leur ruine future ou peuvent-ils surmonter la situation critique actuelle ? La question de la permanence du barrage, qui touche autant sa forme que son impact sur le paysage, reste toujours en suspens. Il ne fait désormais aucun doute que seule une vision critique sur les problématiques contemporaines du barrage peut apporter des éléments de réponse. L'analyse qui suit ce chapitre décrypte l'ensemble des enjeux majeurs auxquels le barrage va devoir faire face au cours du 21^e siècle.

Apocalypse



L'étude du paysage alpin, de la forme et du fonctionnement du barrage constituent dans cette étude les prémices nécessaires à la compréhension du système énergétique des infrastructures hydrauliques des Alpes. Cette approche paysagère et architecturale tente d'explicitier la nature et la raison d'être de ces structures, les idéaux qu'elles représentent et les images qui lui sont associées. Si ces analyses parviennent à dresser un portrait partiel des grandes infrastructures hydrauliques alpines, elles n'insistent pas suffisamment sur la réalité contemporaine des barrages. Si l'on s'intéresse à la permanence de ces structures, il s'agit alors de confronter leur nature à la réalité économique, environnementale et climatique des Alpes. Le barrage n'est en effet pas seulement une forme dans le paysage ou un objet architectural. Il est avant tout un fragment d'un système énergétique complexe, régi par un ensemble de paramètres qui fluctuent au cours du temps. Dans un premier temps, il est nécessaire d'établir le mode d'influence de la structure sur son environnement, puis de l'environnement sur la structure. Dans un deuxième temps, le barrage sera replacé dans un contexte économique et politique afin de déterminer les influences extérieures qui pourraient décider de son avenir, de sa pertinence dans le paysage alpin. Enfin, l'analyse de modèles de prévisions climatiques permettra de comprendre et d'imaginer des futurs envisageables pour les barrages. La première partie de cette analyse établit les relations entre le barrage et son environnement. Si la plupart des projets construits entre les années 1950 et 1970 ont été plébiscités à une époque où les considérations écologiques étaient encore émergentes, la situation a depuis largement évolué¹. Lorsque l'on a pu établir les relations entre les activités humaines et le changement rapide du climat, la prise de conscience écologique s'est répercutée sur l'ensemble des composantes de l'activité humaine, et cela

¹ François Walter, Jean Steinauer, et Lorenzo Planzi, *Paysages sous tension: électricité et politique en Suisse occidentale*, 2016. p 31
« Une véritable conscience écologique apparaît, chez les pêcheurs, dès le début de la décennie suivante. Ce n'est pas par hasard que l'expression « protection de l'environnement » figure déjà 1972 dans le bulletin qu'ils éditent, alors qu'il faut attendre 1976-1977 pour la voir apparaître dans les rapports annuels EEF et ENSA. »

à différentes échelles. La logique d'implantation des barrages et l'extension progressive des zones de captage ont alors été vivement contestées, dans la mesure où leur impact se répercute sur l'ensemble de grands bassins versants. Ces modifications de l'équilibre hydrologique et biologique sont visibles aussi bien en amont qu'en aval de la structure, et soulèvent un ensemble de questions quant à l'impact de l'hydraulique sur l'environnement.

Les impacts environnementaux

Le concept du barrage s'appuie sur une logique extrêmement rationnelle suivant laquelle l'eau est considérée comme une ressource énergétique renouvelable, dans la mesure où les corollaires du cycle (variation annuelle des températures, fonte des neiges et des glaces, précipitations) constituent des événements prévisibles. Cette approche quantitative de la ressource justifie au cours du 20^e siècle la construction d'infrastructures massives en périphérie des bassins de population. Les vallées vierges des Alpes sont sacrifiées sur l'autel de la nécessité et de la modernisation du territoire. Afin de comprendre l'impact réel de ces constructions sur leur environnement, il est indispensable de comprendre dans un premier temps, la constitution des équilibres biologiques alluviaux. L'écosystème biologique des rivières se base sur trois forces principales : l'incorporation locale de matière organique par la végétation qui borde la rivière (contribution allochtone), une production au sein même de la rivière (production autochtone) et le transport de matières organiques par l'amont. L'importance de ces trois facteurs varie au long du cours d'eau. Ces trois paramètres naturels s'appuient sur deux théories primaires. La première théorie est le *river-continuum*² qui envisage le système de la rivière comme une structure longitudinale qui réagit à un ensemble d'actions prévisibles le long du cours d'eau. Ces actions génèrent une continuité de caractère morphologique et biologique de la source à l'embouchure de la rivière. Lorsque cette continuité est altérée par un barrage, les dynamiques hydrologiques et biologiques sont perturbées en profondeur. Le rééquilibrage des écosystèmes est long et souvent incomplet, et cela tout au long des cours d'eau affectés par les infrastructures. Le débit résiduel, qui correspond à la fraction de l'eau directement reversée en aval (6 %-12 %) est une mesure destinée à préserver les cycles naturels de la rivière en aval. Ces obligations fédérales suivent une logique de préservation de l'environnement et tentent de mitiger les effets de la discontinuité artificielle causée par le barrage.

2 Johnson, Barry L., William B. Richardson, and Teresa J. Naimo. «Past, Present, and Future Concepts in Large River Ecology.» *BioScience* 45, no. 3 (1995): 134-41. p134

La seconde théorie est le *flood-impulse*³. Si ce concept est plus pertinent pour les grandes rivières que pour les torrents, il reste néanmoins applicable aux cours d'eau alpins interrompus par les murs des barrages. Ce concept identifie les crues annuelles comme des événements cruciaux à la vitalité d'une rivière, car l'eau occupe provisoirement toute la surface de son lit, un milieu riche en éléments vitaux pour la biodiversité alluviale. D'autre part, les barrages sont également supposés mitiger les effets dévastateurs des crues⁴. Pourtant, les crues participent activement à la vitalité de la rivière en aval. Afin de préserver l'équilibre en place, il est possible de reproduire les effets d'une crue de manière artificielle et contrôlée. Cette pratique tend à se développer au vu de l'inquiétude quant à l'équilibre biologique et hydrologique des cours d'eau alpins. Les barrages ont, en ce sens, un impact majeur sur les milieux riverains. Ils marquent une disruption dans la continuité de la rivière qui se répercute sur des centaines de kilomètres en aval de la structure. L'ensemble de ces perturbations dues aux activités hydrauliques humaines infirment largement l'image du barrage auprès du public, et cela malgré la fascination qu'exerce l'objet dans l'imaginaire collectif. Le morcellement des milieux aquatiques est exacerbé par l'expansion continue des bassins de captage, car la disruption de l'équilibre dynamique alluvial se généralise à l'ensemble des vallées. La rivière est désormais un milieu contrôlé et exploité sur l'ensemble de son tracé, au détriment de la condition naturelle alluviale et de l'équilibre dynamique des cours d'eau alpins⁵.

Le déséquilibre des écosystèmes alluviaux est rendu particulièrement tangible grâce au suivi des populations piscicoles dans les lacs de barrages et les torrents de montagne. Le mur étant une barrière à l'eau, un circuit normalement continu, cela se répercute sur le biotope qui s'en nourrit en amont et en aval. La disparition totale de certaines espèces de poissons après la construction de barrages a alors motivé des expériences empiriques de réintroduction artificielle d'espèces dans les réservoirs. C'est le cas dans le lac du barrage des Toules, où 200 kg de poissons sont reversés cinq fois par ans pour tenter de rétablir un équilibre autrefois existant. S'il est parfois possible de réintroduire une espèce dans un lac ou un torrent, la présence du barrage limite néanmoins les migrations de l'amont à l'aval et de l'aval à l'amont. Ces migrations sont pourtant cruciales à la reproduction d'espèces anadromes, catadromes et diadromes, dont le cycle de vie alterne des phases en eau douce et en mer. Outre la discontinuité des rivières, il a été établi que la structure modifie la température de l'eau. L'eau est plus chaude en hiver et plus froide en été qu'elle ne le serait sans être retenue. Lorsque l'eau est rejetée dans les cours d'eau, elle modifie leur température et perturbe les cycles physiques, chimiques ou biologiques qui en dépendent. Ce dérèglement de température a un impact direct ou indirect sur le biotope dont les cycles sont fonction des

3 François Walter, Jean Steinauer, et Lorenzo Planzi, *Paysages sous tension: électricité et politique en Suisse occidentale*, 2016, p. 31
« Une véritable conscience écologique apparaît, chez les pêcheurs, dès le début de la décennie suivante. Ce n'est pas par hasard que l'expression « protection de l'environnement » figure déjà 1972 dans le bulletin qu'ils éditent, alors qu'il faut attendre 1976-1977 pour la voir apparaître dans les rapports annuels EEF et ENSA. »

4 Isotta et al., « 1868 – Les inondations qui changèrent la Suisse », s. d., 52, p. 33
« Outre les reboisements, on entreprit aussi la construction de barrages de consolidation et de retenue, ainsi que des escaliers de barrages dans les ruisseaux à forte pente p. ex. dans la Zavràgia. »

5 *ibid.* p. 30 « l'homme est intervenu très tôt déjà, et de manière directe, dans le système hydrographique: la déviation ou la correction des cours d'eau, les barrages, les ouvrages de protection contre les crues ont des répercussions directes sur la situation de l'ensemble du réseau hydrographique et surtout sur la situation locale des risques. Une situation hydrologique est typiquement modifiée par le creusement ou le réhaussement de seuils, ou la construction de digues latérales qui modifient de manière significative le profil d'un cours d'eau et donc le rapport niveau/débit. »

6 Conversation avec un des deux barragistes du barrage des Toules.

7 « Plateforme Renaturation », Plateforme Renaturation, consulté le 4 novembre <https://plattform-renaturierung.ch/fr>.

8 Poirel, Alain, Gailhard, Joël et Capra, Hervé, « Influence des barrages-réservoirs sur la température de l'eau : exemple d'application au bassin versant de l'Ain », *La Houille Blanche*, n° 4 (septembre 2010): 72-79, <https://doi.org/10.1051/lhb/2010044>.

9 Anton J. Schleiss et Henri Pougatsch, *Les barrages : du projet à la mise en service* (PPUR Presses polytechniques, 2011). p.33

températures aquatiques⁸. En s'opposant à l'écoulement naturel des cours d'eau, le barrage alpin retient par ailleurs un ensemble de particules minérales, appelées sédiments, nécessaires à la richesse du sol en aval. En entravant le passage des sédiments, le barrage affecte autant les écosystèmes en aval que son propre fonctionnement. L'alluvionnement est un phénomène naturel d'érosion des sols par l'eau de ruissellement et le transport des particules détachées vers l'aval. Lorsque le cours d'eau est barré par un ouvrage hydraulique, ces alluvions se déposent en amont de la structure et remplissent progressivement le réservoir d'eau. La matière se dépose au fond du bassin et se répartit en fonction de son poids, diminuant petit à petit le volume de stockage du réservoir. La sédimentation est une pathologie qu'il est aujourd'hui impossible de soigner. À ce jour, aucune solution durable n'a été trouvée pour endiguer ce remplissage continu. Les modèles de prévisions exposés plus haut insistent en outre sur l'augmentation des précipitations. Les dernières décennies ont également été marquées par une forte augmentation d'épisodes pluvieux courts, mais intenses. Ces événements ponctuels provoquent une élévation rapide des cours d'eau et de leur débit. Gonflés par ces épisodes, ils déplacent plus de matière dans leur sillage. La migration de matière provoque l'érosion des versants, les fragilise et les déstabilise. Ce mécanisme engendre une augmentation du phénomène de sédimentation qui conduit au comblement des lacs. Dans un stade final, les particules peuvent même parvenir à remplacer la surface de l'eau. Dans les lacs de barrage, le volume d'alluvionnement dépend des conditions climatiques, de la conception et morphologie du réservoir et des organes de décharge. L'interruption du transit sédimentaire n'a pas seulement un impact sur l'amont du barrage : l'érosion en aval est également existante et affaiblit les lits et les rives. En Suisse, actuellement, le volume annuel d'alluvionnement est de 0,2 % et permet de considérer les infrastructures hydroélectriques comme durables. Au niveau mondial, la diminution de volume de retenue dû à la sédimentation est généralement comprise entre 1 et 2 %⁹. Dans l'hypothèse où les conséquences du changement climatique s'intensifient et que le taux d'alluvionnement en Suisse augmente, cette pathologie pourrait bien devenir une donnée importante dans la permanence des barrages. Le réchauffement climatique a ainsi de telles conséquences immédiates que les grandes infrastructures hydrauliques des vallées alpines doivent les prendre en compte dans leur renouvellement.

La maladie du béton

La présence du barrage affecte largement son environnement. La fragmentation des rivières a des conséquences en amont comme en aval de la structure, à l'échelle locale comme territoriale. Parallèlement, l'environnement direct du barrage et notamment la composition géologique des sols peut également impacter la structure. La construction des barrages au 20^e siècle s'est largement approprié l'usage du béton. La plasticité du matériau nouveau lui permet d'apprivoiser aisément la morphologie irrégulière des vallées alpines. Néanmoins, cette relative jeunesse s'accompagne d'une expérience limitée concernant son vieillissement. Dans les années 1940, on observe pour la première fois une dégradation physico-chimique d'ouvrage en béton. La réaction lente responsable de cette détérioration est appelée réaction alcali-granulat (RAG). L'occurrence de la RAG implique la présence double de granulats réactifs (éléments pierreux) et d'alcali présent dans la composition du ciment (ions OH⁻, Na⁺, K⁺ et Ca²⁺). Lorsque le taux d'humidité du béton est supérieur à 80 %, les granulats gonflent par absorption d'eau, « conduisant à une expansion du béton (qui) peut conduire à la formation de fissures. » La réaction s'accélère à mesure que la température augmente, et concerne ainsi les parements généralement exposés au sud¹⁰. En 2018, on estime que l'« expansion du béton affecte entre 35 % et 45 % des barrages suisses »¹¹. Sous l'effet de la compression due au gonflement du matériau, généralement comprise entre 20 à 150 µm/m/an, de grandes fissures se forment, parallèlement aux forces de compression. Outre les fissures, la pathologie du béton est rendue visible par la présence de gouttes de gel blanchâtres à la surface du béton. À terme, les propriétés mécaniques du béton diminuent sensiblement. Pourtant, selon les analyses récentes sur la plupart des barrages suisses, « ce phénomène n'est habituellement pas problématique pour les barrages »¹² au stade actuel. Bien que la réaction alcali-granulat n'est certainement pas un problème à court ou moyen terme pour les barrages, la situation à long terme pourrait s'avérer critique, dans la mesure où l'auscultation des structures est principalement surfacique. Il est donc extrêmement difficile de détecter des problèmes de fond dans la structure interne du barrage. D'après les expériences réalisées, les stades plus avancés de la réaction entraînent une forte détérioration des propriétés du béton : la résistance à la compression diminue de 25 à 60 %, la résistance à la traction de 50 à 70 %, le module d'élasticité de 60 à 70 %. Le comité des barrages suisses insiste d'autre part sur les mesures possibles face à ce phénomène : « les interventions agissent généralement sur les conséquences du gonflement, et seulement dans des situations exceptionnelles sur les causes. Les interventions de mitigation ont donc en général un caractère

¹⁰ Comité suisse des barrages, « Expansion du béton dans les barrages suisses : Rapport du Comité suisse des barrages CSB sur l'état de la problématique de l'expansion du béton dans les barrages suisses », 8 mai 2017, p.6

¹¹ *ibid.* p.4

¹² *ibid.* p.6

13 Comité suisse des barrages, « Expansion du béton dans les barrages suisses : Rapport du Comité suisse des barrages CSB sur l'état de la problématique de l'expansion du béton dans les barrages suisses », 8 mai 2017, p.75

temporaire et leur efficacité se réduit progressivement »¹³. Ainsi, il est possible de limiter les effets de la RAG sur la structure dans ses premières phases, notamment par injection de béton dans les fissures. En revanche, comme pour l'ensemble des problématiques qui concernent les barrages, il est difficile de se projeter à long terme et d'assurer la pérennité de l'ouvrage.

La politique économique

La dégradation progressive des barrages suisses sous l'effet de la sédimentation, de la RAG ou d'autres aléas naturels ponctuels n'est pas sans inquiéter les exploitants et les investisseurs. Les travaux liés à la maintenance ou au renouvellement des installations sont en effet onéreux et souvent longs. Afin de rentabiliser la production électrique des barrages, des efforts sont réalisés pour rendre les structures actuelles plus performantes. Plusieurs stratégies peuvent revitaliser la production d'infrastructures vieillissantes : la surélévation et l'extension de la zone de captage permettent par exemple d'accumuler plus d'eau pendant les premières phases du cycle. Le renouvellement de l'équipement des centrales permet également d'optimiser la production électrique. Enfin, dans certains cas, il est simplement décidé que la structure ne répond plus aux exigences actuelles de sécurité ou de production énergétique. Le barrage de Spitallamm, construit il y a 90 ans au Grimsel, est ainsi remplacé par une nouvelle infrastructure construite quelques dizaines de mètres en aval de l'existant. Afin de comprendre la raison d'être de ces structures et l'investissement de capital dans leur renouvellement, il est indispensable de comprendre la réalité économique actuelle de la production énergétique en Europe. Cette partie explicitera les bases théoriques de ce vaste sujet central aux débats énergétiques suisses.

En Suisse, la part de production de l'énergie hydroélectrique représente environ 56 % du total créé d'après l'Office Fédéral de l'Énergie¹⁴. Le reste de l'électricité est générée par le nucléaire et des sources d'énergie intermittentes comme le solaire ou l'éolien. La contribution de l'énergie hydraulique repose sur sa flexibilité, car le potentiel hydroélectrique en Suisse est presque entièrement développé. Elle permet le stockage à bas prix d'électricité, qui est inséré sur la grille de distribution seulement quand la demande est forte, en hiver particulièrement. Le système économique de l'hydraulique suisse repose sur un système de concessions dont la durée maximale est de 80 ans¹⁵. Ces principes de redevance sont contrôlés par la Confédération assurant

14 Ludovic Gaudard et al., « Climate Change Impacts on Hydropower in the Swiss and Italian Alps », *Science of The Total Environment* 493 (15 septembre 2014): p.1211

15 Ibid. p.1213

un plan sur plusieurs années selon la Loi fédérale sur l'hydroélectricité 1916a¹⁶. Pour les cantons et les communes, les droits de concessions et la redevance hydraulique représentent des gains importants, en contrepartie de l'utilisation des eaux qui nuisent sur le territoire. En revanche, les grands exploitants électriques doivent s'acquitter d'un certain nombre de charges liées au capital, aux taxes et aux coûts d'exploitations. La réalisation des barrages et de leur centrale attenante est de la responsabilité d'un constructeur qui exploitera par la suite ces installations.

16 Ibid. p.1213

Dans les années 1990, le marché de l'hydraulique a été ouvert à la concurrence en Europe par la Commission Européenne¹⁷. La concurrence et la fin du monopole a engendré des changements considérables sur le marché, autrefois très contrôlé. Ce marché s'appuie sur deux principes fondateurs. D'une part, la demande ne doit jamais excéder l'offre, afin d'éviter une pénurie. D'autre part, l'électricité ne peut être stockée, ce qui signifie que le réseau doit se doter d'une réserve de puissance de production inactive afin de compenser des épisodes de demande exceptionnelle. Les centrales hydrauliques ne fonctionnent ainsi que rarement à un facteur de charge maximal. Pour pouvoir augmenter leur apport sur le réseau à tout moment, les centrales ne peuvent développer leur puissance maximale. La libéralisation du marché de l'électricité a principalement entraîné la chute des prix de vente. De plus, les investisseurs ont décidé de réduire leur part dans le domaine de l'hydraulique au profit des énergies renouvelables ; cela s'est répercuté sur le vieillissement des installations. L'arrivée de nouvelles énergies sur le marché a mis ce problème en exergue. Puisque les énergies éoliennes et solaires affichent des coûts marginaux faibles, elles sont plus facilement sujettes à recevoir des investissements. En outre, elles sont largement subventionnées dans la plupart des pays limitrophes à la Suisse et notamment en Allemagne. Ces énergies sont les premières à être placées sur le marché, suivant un « ordre du mérite » énergétique. Par conséquent, l'énergie hydroélectrique n'est insérée dans le réseau que plus tardivement diminuant ainsi son prix de vente et son attractivité¹⁸. Au vu des faibles investissements actuels, la tendance est plutôt à modifier les structures existantes pour augmenter leur capacité de production. Améliorer le rendement peut se faire de différentes manières. D'une part, on peut optimiser la transformation de la pression en énergie électrique, dans les centrales est. D'autre part, il est souvent envisageable d'augmenter la capacité des retenues. Dans le dernier cas, il s'agit alors de modifier à la fois la structure du barrage, par surélévation, et d'améliorer l'approvisionnement en eau. Ces modifications s'accompagnent généralement par l'extension du système de captage des eaux en allant la chercher dans les environs du bassin à l'aide de plusieurs pompes et tuyaux, telle la structure tentaculaire évoquée précédemment.

17 Ibid. p.1213

18 Ibid. p.1214

La transition énergétique

En ce qui concerne son investissement, l'énergie hydraulique n'est pas épargnée par la nouvelle conjoncture économique et ce, malgré sa souplesse d'utilisation qui la rend essentielle comme support de la transition énergétique. La possibilité de produire de l'énergie à tout moment permet en effet un ajustement du marché vers un plus grand apport productif des énergies renouvelables. En outre, la crise nucléaire de Fukushima en 2011 a appuyé la volonté de la Suisse de s'affranchir progressivement de la dépendance à l'énergie nucléaire qui représente actuellement 40 % de sa production électrique. Dans ce contexte, il semble difficilement concevable de se passer de l'apport énergétique de l'hydraulique, malgré une faible attractivité en termes d'investissement et les difficultés actuelles de certains grands groupes d'exploitants suisses, comme Alpiq. L'enjeu de la transition énergétique actuelle est, en partie, de diversifier les sources d'approvisionnement et de suivre une logique de décentralisation de la production. Si l'éolien et le solaire n'ont pas la capacité de fournir l'énergie à l'échelle globale, ils peuvent néanmoins constituer une source d'énergie locale non négligeable. Dans cette logique, les grandes surfaces des murs de béton et des étendues d'eau artificielles seraient un environnement idéal pour l'implantation de cellules photovoltaïques. Le lac des Toules a vu fleurir à sa surface un projet de panneaux solaires repartis sur un tiers de sa surface. La réflexion du rayonnement solaire sur l'eau permet, dans ce cas, de doubler la production d'énergie électrique par l'usage de panneaux biorientés. À Albigna dans les Grisons, c'est le barrage même qui sert de support à quelques panneaux solaires, répartis le long de son couronnement, qui approvisionnent le barrage en électricité. L'infrastructure hydraulique s'affranchit ainsi de toute source d'énergie extérieure et devient autonome.

Le futur climatique

Pour appréhender le devenir des barrages et les nouvelles études sur les sites potentiels de barrages, il semble nécessaire de comprendre l'évolution du climat dans la région. Les Alpes sont un environnement très complexe, qu'il est difficile de mettre en équation pour construire des modèles de prédiction climatique. Les recherches appliquées pour tenter de définir les mutations alpines doivent s'appuyer sur plusieurs modèles climatiques régionaux et globaux. Ce milieu est marqué par de fortes

variations topographiques dont le climat dépend intimement. La difficulté à mathématiser le système alpin réside dans l'existence de gradients climatiques distincts en trois dimensions, la récurrence d'événements extrêmes et l'importance des neiges éternelles et des glaciers¹⁸. Pour définir et comprendre l'évolution du comportement climatique des Alpes durant le 21e siècle, plusieurs données sont à isoler comme les saisons, la période dans le siècle à venir et la prise ou non de mesures pour la protection du climat. Cela concerne l'ensemble des paramètres d'étude principaux à savoir : la température, les précipitations, le rayonnement global, l'humidité relative et la vitesse du vent.

Dans un premier temps, il sera énoncé un modèle basé sur la prise de mesures drastiques pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le but de protéger le climat suisse¹⁹.

¹⁹ Andreas Gobiet et al., « 21st Century Climate Change in the European Alps—A Review », *Science of The Total Environment* 493 (15 septembre 2014): p.1138

¹⁹ *ibid.* p.1140

| 2000-2049 | 2050-2099 | paramètres / unité | |
|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| température | température | température | |
| +1.2 | +2.7 | °C | printemps |
| +1.6 | +3.8 | °C | été / hiver |
| +0.25 | +0.36 | °C | /10ans |
| précipitations | précipitations | précipitations | |
| -4.1 | -20.4 | % | été |
| +3.6 | +10.4 | % | hiver |
| +5 | +10 | % | précipitations int. |
| rayonnement | rayonnement | rayonnement | |
| +0.4 | +3.4 | W/m ² | été |
| -1.2 | -4.0 | W/m ² | hiver |
| humidité relative | humidité relative | humidité | relative |
| -1.4 | -3.9 | % | été |
| -0.5 | -0.5 | % | hiver |

Les événements prédits sont interdépendants et s'influencent les uns les autres. Par exemple, les nuages de basse altitude porteurs de précipitations reflètent le rayonnement solaire. Ainsi, le rayonnement global s'inverse par rapport aux précipitations. De la même manière, l'augmentation des précipitations augmente l'humidité relative, et vice versa (il en est de même pour les implications en situation de diminution) : les précipitations humidifient les sols, puis l'eau s'évapore dans l'atmosphère qui se sature en eau jusqu'à ce qu'il y ait une nouvelle précipitation. Ces premières prédictions qui envisagent une forte diminution des émissions des gaz à effet de serre s'opposent à un deuxième modèle, beaucoup plus pessimiste. Les conséquences d'un maintien du niveau actuel d'émission dans le futur risquent d'être bien plus inquiétantes que celles formulées précédemment. Dans ce second modèle de prédiction, les mesures ont de plus grandes valeurs et des écarts types plus importants. Il

²⁰ CH2018, CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services (Zurich, 2018).

| 2000-2049 | 2050-2099 | paramètres / unité |
|----------------|----------------|-----------------------|
| température | température | température |
| +2.5 - 4.5 | +4 - 7 | °C printemps |
| +2 - 3.5 | +3 - 5.5 | °C été / hiver |
| +10 jours | +25 jours | jours canicules |
| précipitations | précipitations | précipitations |
| -25 | -40 | % été |
| +10 | +20 | % précipitations int. |

est conséquemment plus difficile d'extrapoler ces données pour avoir des schémas de prédictions plausibles²⁰.

Les répercussions actuelles

Il est peu probable que les prochaines années voient une évolution positive nette concernant les changements évoqués plus tôt. À l'heure actuelle, la température moyenne en Suisse a augmenté de 2 °C en un peu plus de 150 ans. Cette valeur est bien supérieure à l'augmentation moyenne mondiale de 0,9 °C²¹. D'après les tendances observées, le milieu alpin connaît des changements exacerbés par rapport à d'autres ères climatiques. De nombreuses conséquences de ce réchauffement global sont d'ores et déjà visibles. Cela se traduit à la fois par des données climatiques, mais aussi par des modifications morphologiques et physiques de l'environnement. Le nombre de précipitations intenses et brutales va s'accroître en hiver, parallèlement à une diminution globale des précipitations annuelles, provoquant des inondations des crues violentes et des périodes de sécheresse. L'environnement sera affecté par la remontée de l'altitude du pergélisol, l'assèchement des sols, la réduction du nombre de jours d'enneigement à moyenne altitude, des sécheresses plus fréquentes et le retrait des glaciers. Tous ces événements sont autant de phénomènes qui déstabilisent en profondeur les versants alpins, alors plus sujets aux éboulements de grande ampleur. L'hiver, la variabilité des températures et des précipitations déséquilibre également le manteau neigeux, plus sujet aux avalanches massives. En Suisse, des événements catastrophiques de grande ampleur ont profondément marqué le territoire. Successivement, Bondo, village dans le canton des Grisons, a été victime de glissements de terrain qui ont dévasté les habitats. Les événements de 2011, 2012 et 2016 n'ont pas eu la même incidence que ceux d'il y a deux ans, en août 2017. La chute d'une masse rocheuse du Piz Cengalo, en bas duquel est enfoncé Bondo, a provoqué d'importantes laves torrentielles qui ont arraché

21 ibid.

toute la matière qu'elles trouvaient sur leur passage pour former une boue composée de gravats, de roches et de glace. Une vingtaine de bâtiments sont endommagés, dont certains complètement détruits par la masse colossale, qui s'est déversée entre les habitations, les emprisonnant et les scellant en un immense agglomérat. Cette image semble communiquer que la nature essaye à tout prix de reprendre ses droits sur le bâti construit par l'homme.

Quelques exemples

Ces changements affectent les barrages et plus généralement les infrastructures hydrauliques en montagne de différentes manières. On distingue principalement deux corollaires à l'évolution du climat. La première implication est globale et systématique. Elle concerne l'ensemble des barrages sur le long terme et tient à l'altération du cycle hydrologique alpin et la diminution du volume d'écoulement nécessaire au fonctionnement des infrastructures hydrauliques. La deuxième implication est plus ponctuelle, mais son caractère soudain et violent peut s'avérer désastreux. Elle induit de fortes sollicitations sur la structure du barrage dues à des événements climatiques et géologiques exceptionnels, comme des glissements de terrain ou des avalanches massives. La pertinence des prévisions dépend néanmoins des modèles climatiques créés pour un lieu donné, il est sans doute préférable de s'intéresser à un cas particulier. Pour cette partie de l'analyse, le cas du barrage de Mattmark semble représentatif, puisqu'il est concerné par l'ensemble des paramètres qu'il est nécessaire d'évoquer. Les prévisions climatiques pour les décennies à venir insistent sur le changement de comportement des précipitations annuelles ainsi que leur forme (solide, liquide). Ces paramètres sont sujets à une grande variabilité d'une vallée à l'autre, car la topographie, l'orientation de la vallée et de nombreux autres facteurs influencent le climat en un lieu. Il est ainsi difficile de généraliser les prévisions locales pour l'ensemble des Alpes. Néanmoins, l'ensemble des modèles s'accordent généralement sur une diminution progressive des apports en eaux, et une saisonnalité plus marquée : les précipitations seront plus fréquentes et plus intenses en hiver, mais plus rares en été. Pour sa part, la vulnérabilité productive du barrage est intimement liée à deux paramètres, à savoir le volume d'écoulement des eaux annuelles et la répartition dans le temps du ruissellement. Dans la vallée de Saas, qui a vu s'élever dans les années 1960 la digue de Mattmark, les modèles climatiques

estiment que l'apport d'eau va diminuer au cours des décennies à venir, particulièrement à la fin de l'été. La diminution prévue est liée à la fois aux précipitations annuelles en baisse, mais aussi à la fonte des glaciers. En effet, le bassin versant de Mattmark est recouvert à 29 % de glaces qui vont s'épuiser progressivement d'ici la fin du siècle. En recoupant l'ensemble des prévisions, y compris la capacité de pompage actuelle du barrage, l'étude estime que la production électrique du barrage va chuter de 18 % d'ici à 2050²². S'il est difficile d'extrapoler le cas de Mattmark à l'ensemble des barrages, il semble probable que la plupart des infrastructures soient affectées à plus ou moins grande échelle par les phénomènes de changements climatiques. A fortiori, les barrages qui tirent avantage de la fonte des glaciers vont subir une nette diminution de leur apport en eau, en raison de la fonte irréversible de ces géants de glace. Outre la diminution de la production électrique due au volume d'eau accumulé, les barrages peuvent également s'attendre à de grands événements géologiques et hydrologiques ponctuels, liés à la déstabilisation globale des versants. Les glissements de terrains, avalanches et précipitations intenses ont causé de grandes catastrophes au cours du 20e siècle, que les constructeurs et exploitants se doivent de garder en mémoire.

Malpasset. 2 décembre 1959, 21 h 13.

Un énorme craquement retentit dans l'épais silence qui étreignait les montagnes. Le barrage-voûte de Malpasset dans le Var vient de lâcher. Depuis quelques jours, des pluies diluviennes s'abattaient sur la région. Le jeune barrage subit une crue violente qui remplit très rapidement le bassin ; le niveau de sécurité est dépassé malgré les efforts pour tenter de vidanger la retenue rapidement. Pas moins d'une cinquantaine de millions de mètres cubes déferlent dans la vallée, emmenant sur son passage villages et campagnes. L'immense vague d'eau fait 423 morts, arrache 2,5 km de voies ferrées, balaye 50 fermes, tue 1000 moutons... Les dégâts sont énormes. Actuellement, sur le site, il reste un petit morceau sur le versant gauche où la roche est saignée de failles, figures d'un écroulement rocheux ; le côté droit du barrage est présent, légèrement décollé, dont le profil en béton est marqué par la violente masse d'eau qui l'a détruit, découpé par la pression qu'il a subi. À travers ces ruines, on ressent toute l'intensité de l'événement.

Vajont, 9 octobre 1963, 22 h 39.

Un choc tonitruant met fin à l'accalmie qui régnait sur les alentours du lac artificiel. Le versant du Toc vient de s'écrouler d'un seul bloc. Un peu moins de trois cents millions de mètres cubes de roche et de terre s'écrasent dans le bassin de retenue du barrage de Vajont, à une

centaine de kilomètres de Venise. Une succession de trois vagues de plusieurs centaines de mètres de haut dévalent jusqu'en fond de vallée. La première ne fait aucune victime, mais la seconde s'en prend à 160 villageois habitant près du lac, puis la dernière, d'environ vingt-cinq millions de mètres cubes, enlève la vie à 54 employés résidant proche de l'ouvrage. Cette dernière onde retombe dans la vallée et forme un cratère d'une profondeur d'une quarantaine de mètres puis rebondit jusqu'en fond de vallée et tue 1600 personnes. Aujourd'hui, le mur de béton est toujours fièrement érigé, intact, mais tragiquement inutile. Derrière, le lac est quasiment disparu, comblé d'une masse minérale comme souvenir de l'événement passé. Il est dorénavant un lieu pour le tourisme de mémoire.

Qu'il en reste des vestiges ou qu'il soit toujours entier, le barrage a perdu sa fonction, son utilité, son devoir. Il a perdu son âme de machine et son image infrastructurelle disparaît. Que devient-il, ce géant de béton, sans vie, dans ce paysage montagneux ? Les précédentes parties ont exposé le plus clairement possible l'ensemble des problématiques auxquelles le barrage contemporain doit faire face. Maintenant que les données de l'équation sont posées de manière critique et objective, il est sensé d'évoquer le futur des grands barrages à long terme. Les grands monstres de béton souffrent de bien des maux que ses constructeurs ne savent aujourd'hui soulager. Les causes profondes de ces pathologies — diminution des précipitations, augmentations des aléas, sédimentation, réactions alcali-granulat — relèvent de processus climatiques et hydrologiques à l'échelle



f.1 Ruines du barrage de Malpasset, 1962

f.2 Ruines du barrage de Vajont, 1963



territoriale, hors d'atteinte de ses soignants. De toute évidence, l'avenir à long terme du barrage alpin dépend d'un ensemble de facteurs qu'il s'agit d'articuler afin de proposer des scénarii raisonnés et envisageables. Il est nécessaire d'être lucide dans la pondération des facteurs et de ne pas négliger les aspects économiques et politiques de ces constructions, déterminants dans la permanence des barrages. Il est difficile de se projeter dans un futur dont la réalisation dépend de tant de choses — aussi proches que 70 ans puissent être. Ces projections s'accompagnent bien souvent de représentations naïves, dont il semble judicieux de se défaire. En se focalisant sur un élément spécifique du territoire des Alpes, le barrage, et l'ensemble des paramètres qui le déterminent, peut-être est-il envisageable d'éviter les écueils fantaisistes qui accompagnent généralement ces démarches. Alors que certains barrages conçus pendant l'antiquité ont perduré pendant près d'un millénaire, il semble peu probable que les barrages des Alpes connaissent un sort similaire.

Les scénarii

23 Ludovic Gaudard et Franco Romero, « The Future of Hydropower in Europe: Interconnecting Climate, Markets and Policies », *Environmental Science & Policy* 37 (1 mars 2014): 172-81

«The fact that hydropower faces a constantly evolving environment blurs its future. From climate change to emerging energy policy and electricity reforms, uncertainties impact any predictions relating to this technology.»²³

Même si la technique a évolué dans les études de site et la construction, plusieurs facteurs infirment d'ores et déjà leur intégrité structurelle, et la dégradation des barrages va très probablement se poursuivre et s'identifier dans les décennies à venir. Les scénarii qui seront proposés dans ce chapitre insisteront sur trois pathologies principales qui ont été explicitées précédemment. La première concerne la matérialité du barrage. L'usage du béton, matériau nouveau dont on ne connaissait pas réellement le processus de détérioration, sera sans doute l'une des causes principales de la ruine future des barrages du 20^e siècle. Les deuxièmes et troisièmes pathologies concernent le remplissage du barrage. D'une part, les sédiments combleront petit à petit la retenue, entraînant une progressive perte d'efficacité. Il est parfois possible de compenser ces pertes par la surélévation du barrage, mais ces mesures sont généralement temporaires. D'autre part, les changements climatiques exacerbés dans les Alpes entraîneront probablement une baisse de l'apport d'eau, de l'ordre de 15 à 25 % et une augmentation des événements extrêmes. Les structures seront alors surdimensionnées, chères à l'exploitation et sujettes à des aléas géologiques et climatiques de plus en plus fréquents. En outre, la hausse des températures s'accompagnera d'une diminution significative du volume des glaciers, qui alimentent en partie les barrages, jusqu'à leur épuisement presque total à la fin du siècle. Les scénarii prendront comme horizon la fin du 21^e siècle — les barrages alpins auront en moyenne 150 ans —, car les prévisions climatiques sont rarement projetées au-delà. Ils permettront de construire deux horizons diamétralement opposés, bien que liés par la ruine du barrage dans sa forme actuelle. L'image de la ruine aura alors deux visages. La première ruine reflète l'obsolescence et le remplacement de l'élément devenu inutile. Elle obéira à la temporalité de l'homme et la décadence de ses idéaux. La deuxième sera une ruine géologique, naturelle plus qu'artificielle. Le barrage sera érodé et altéré par des forces qui dépassent l'homme et symboliseront son abandon. En prolongeant le raisonnement d'Auguste Perret qui affirmait que « l'architecture est ce qui fait de belles ruines », il est possible que le regard sur les ruines du barrage ouvre des perspectives inattendues sur la crise que traversera l'hydraulique suisse.

Le premier scénario s'accorde avec la pensée contemporaine des ingénieurs. Pour ces derniers, il est aujourd'hui inconcevable d'imaginer une Suisse sans barrage.

2022 En matière d'hydrologie, les Alpes sont le réservoir d'eau de l'Europe, de par ses reliefs, ses glaciers et ses neiges éternelles. En Suisse, un usage stratégique de cette ressource devait permettre d'atteindre l'autonomie énergétique, malgré la sortie du nucléaire amorcée ces dernières années. À la suite des accords de Paris, la Suisse s'est engagée à diviser

par deux ses émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030. L'objectif fédéral avoué est, en outre, d'atteindre une neutralité carbone à la moitié du siècle. Ces divers engagements politiques ne sont pas naïfs. Ils s'appuient notamment sur le parc de barrages suisses, l'un des plus performants au monde, dont l'émission en CO₂ est faible. Si les énergies renouvelables comme l'éolien et le solaire sont des technologies nouvelles et pleines de promesses, il s'agit dorénavant de se baser sur des certitudes, en particulier car leur intermittence ne permet pas d'envisager une nation entièrement régie par ce type de ressources énergétiques.

2030 Les difficultés économiques des exploitants de barrages ne rassurent pas les investisseurs, d'autant plus que la plupart des concessions arrivent à terme. Sans garantie fédérale d'un allègement des charges d'exploitation et des redevances aux communes, ils se retirent petit à petit. Les barrages, qui reviennent presque intégralement de droit aux cantons, deviennent des propriétés publiques à hauteur de 60 % et sont alors exploités par différents groupements semi-privés. En Suisse, les années 1990-2020 constituaient une période de forte libéralisation, notamment du marché de l'électricité. Durant ces années, beaucoup de voix se sont élevées contre une étatisation totale des barrages, ou la création d'un monopole d'État sur l'énergie, malgré les difficultés concurrentielles que ceux-ci ont rencontrées dès 2011. Selon les libéraux détracteurs de ce système, il semblait absurde d'engloutir l'argent public dans de grandes structures énergétiques qui ne rapportent rien, si ce n'est « l'image romantique d'un drapeau suisse flottant sur les barrages »²⁴. L'énergie ne doit pas être une affaire d'État.

²⁴ « L'étatisation des barrages serait absurde ». Le Temps, 22 avril 2016.

2050 Irrémédiablement, le barrage se détériore et rien ne peut plus cacher sa vieillesse. De grandes fissures barrent désormais sa façade. Curieusement, elles dessinent le profil de la vallée sur la grande surface de béton, comme une coupe de site sur une feuille de calque. Le gonflement du béton ne trompe pas, ses symptômes sont connus et étudiés. Les nouveaux bétons savent désormais se prémunir contre cette gangrène, alors que leurs ancêtres se décomposent sous leurs yeux. Cependant, les dernières recherches estiment que 85 % des roches suisses réagissent aux alcalis, dans des proportions variées. Les nouvelles constructions nécessitent alors des granulats spécifiques, rarement locaux, représentant des moyens de transport importants. Autrefois, le grand mur ne montrait jamais sa faiblesse. Les fissures étaient comblées d'une pâte de ciment qui rétablissait le monolithisme de l'ensemble. Ces réparations furent efficaces dans la mesure où les fissures restaient superficielles. Malheureusement, l'épaisseur nécessaire de béton empêche une réelle auscultation en profondeur des structures. On ne peut déceler que les mouvements anormaux d'un ouvrage,



f.3 Ruines du barrage de Saint-Francis, Californie du sud, 1928. Certaines portions du barrage-poids sont restées en place, pilier solitaire.

sans pour autant réaliser que la masse interne est profondément fissurée. Ces difficultés liées à la forme même du barrage obligent les exploitants à mitiger les symptômes plutôt que de s'intéresser aux causes de ceux-ci. La pâte de ciment ne suffit plus, la sécurité de l'ouvrage est menacée. Les droits d'eau sont réduits et de grands travaux sont entrepris par les propriétaires et les exploitants. L'état pousse aux rénovations des barrages et met à disposition des moyens financiers que le conseil fédéral n'avait jamais octroyés auparavant au secteur énergétique. La forme des barrages change petit à petit. Lorsque les fondations montrent des signes de faiblesses et que les injections ne suffisent plus, la base des murs est renforcée. De la simplicité du monolithe, le barrage s'habille à la manière des cathédrales gothiques.

2063 Cent ans après la catastrophe de Vajont, le premier barrage de Suisse est vidé en urgence, car on craint une rupture. Les dernières semaines, les sismographes se sont affolés et par précaution, la vallée est évacuée. La réaction alcali-granulat s'est accélérée dans la plupart des constructions en béton antérieures à 1990. Elle est désormais dans une phase avancée qui fissure et affaiblit les entrailles du monstre. Les fissures font rentrer l'humidité et produisent de fortes variations de température jusqu'au cœur de l'ouvrage qui, désormais, se déforme dans toutes les directions. La roche l'astreignant de chaque côté empêche son expansion et la matière se fracture sous l'effet de ces poussées contraires. Le climat de la dernière

décennie n'aide pas : les écarts de températures sont de plus en plus exacerbés entre les saisons, alors que les précipitations se font rares en été et abondantes en hiver. Il ne fait pas de doute que la structure aurait pu résister encore plusieurs années. Cependant, aucun expert n'est prêt à prendre la responsabilité d'un accident qui serait catastrophique. Une large ouverture, appelée pertuis, est ménagée dans la partie inférieure du barrage, afin de permettre un écoulement normal de l'eau, tout en diminuant sensiblement le risque de cru par écrêtage du débit alluvial.

2070 Le lac vidé laisse apparaître un bien triste paysage. Le fond de la vallée est couvert d'une couche sédimentaire de plusieurs dizaines de mètres qui camoufle désormais les roches et le lit de la rivière qui y serpentait autrefois. Les fines particules craquellent sous les rayons du soleil de septembre. Ici et là, de grands blocs détachés des falaises, surplombant la retenue, reposent sur l'étendue horizontale et grise des sédiments. Semblables à des îles rocheuses dans un océan de poussière, leurs formes projettent des ombres hésitantes. Entre ces grandes formes, une petite rivière s'est frayé un chemin sinueux. Elle érode doucement la boue grisâtre, qu'elle et ses modestes affluents avaient transportée depuis les versants alentour. Alors qu'elle s'avance vers le mur, la topographie change progressivement. Contre le mur, le plateau se plie et s'incline vers la base du mur. Les roches chargées par le torrent se déposent sur les bords de la cuvette creusée par les eaux. Quelques mètres en contrebas, le mince filet d'eau s'engouffre dans le pertuis à la base du mur.

f.4 Ruines du barrage de Saint-Francis, Californie du sud, 1928. Fragments affaissés et transportés par les flots



2085 Le grand mur inutile n'a guère changé. Il offre toujours sa grande masse au fort rayonnement estival. Souvent, quelques animaux s'aventurent auprès de lui et lèchent le sel qui s'est condensé à sa surface, avant de s'allonger à même le béton, resté chaud même après la disparition du soleil. Depuis quelques jours pourtant, un étrange ballet occupe la vallée. Plusieurs fois par semaine, des SUV blancs arpentent l'étendue de sédiments. Tous les vingt mètres, des prélèvements sont effectués, afin de sonder la quantité d'alluvions accumulées. De nombreuses carottes rocheuses sont extraites des versants en amont et en aval du grand barrage. Une fois la surface quadrillée, les hommes repartent vers la vallée. Les échantillons sont analysés en laboratoire afin de déterminer s'ils pourraient participer à la fabrication d'un nouveau béton. Il a été décidé, l'année précédente, qu'un nouveau barrage serait construit pour remplacer l'ancien, dont la ruine domine la vallée. L'ancien barrage-poids d'une cinquantaine de mètres de haut, construit au milieu des années 1950, permettait d'accumuler plusieurs millions de mètres cubes d'eau turbinés au cours de l'hiver. L'ancien barrage occupe l'emplacement le plus propice et les ingénieurs doivent intégrer cette donnée dans la conception d'un nouvel ouvrage. La question du matériau reste en suspens. Les ingénieurs, ainsi que les collectivités, souhaitent absolument utiliser les sédiments accumulés sur place pour la fabrication du béton. Ces sédiments pourraient, en adaptant la formule, remplacer efficacement les sables et les granulats grossiers utilisés dans les barrages du 20^e siècle. En outre, l'utilisation de ces sédiments permettrait de vider la vallée d'une partie des dépôts qui la combrent et l'entravent. Un barrage plus petit offrirait, en conséquence, l'accumulation de la même quantité d'eau que le premier barrage construit. Les recherches sur le recyclage des sédiments marins et fluviaux ont été l'objet de recherches intenses depuis le milieu des années 2010. Cependant, l'hétérogénéité de la provenance des sédiments oblige à persévérer les recherches, car il s'agit d'adapter les formules efficacement pour prévenir la réaction alcali-granat, cause principale de la mort des anciens barrages.

2090 Le projet est bien avancé. Quelques dizaines de mètres en amont du barrage existant, sur la rive gauche, une épaule rocheuse semble suffisamment solide pour accueillir les fondations d'un grand barrage-voûte. Sur la rive droite, il a été décidé de démolir une partie du barrage existant, car il s'appuie sur les roches les plus appropriées pour implanter les nouvelles fondations. Ces roches qui au siècle dernier ne paraissaient pas suffisamment solides pour cette géométrie sont renforcées localement par des injections importantes de béton haute qualité. À certains endroits, des failles rocheuses de cisaillement sont maintenues en place par de grands tirants en aciers

profondément enfoncés dans l'enveloppe rocheuse. Plus d'un siècle après le précédent chantier, les hommes et les machines s'installent de nouveau au creux de la vallée, en aval du barrage-poids, et forment une nouvelle ville éphémère. Le démantèlement du segment droit du barrage existant est la première opération réalisée. La faible qualité du béton du siècle précédent permet une démolition par minage progressif ciblé. On démolit par tranches successives d'immenses volumes de béton, qui se mêlent aux pierriers et fragments de falaise détachés par la gravité. L'opération est longue et coûteuse, compte tenu de l'épaisseur du barrage-poids. Il est décrété de démolir uniquement le nécessaire, et le reste de l'ouvrage sera conservé comme vestige. Percé d'une cavité à sa base et détaché de la roche, il apparaît désormais comme un monument symbolique, une mise en scène colossale de la rivière, une porte majestueuse à la source. Derrière lui, le nouveau barrage grandit peu à peu, à mesure que les plots s'élèvent vers le ciel. La courbe nouvelle s'oppose au tracé rectiligne de l'ancien barrage-poids, offrant un paysage étrange, sans échelle. Le béton fraîchement coulé, à peine refroidi, expose fièrement sa surface grise claire immaculée, alors qu'à quelques dizaines de mètres en aval, l'ancien parement s'apparente plus à une roche sombre étrangement fissurée.

25 Rosellini, Anna. Robert Smithson et la nature du béton: *Ruin in reverse, de-architected project, Concrete Pour*. Vol. 12. Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 2015. p.153

Lorsqu'il décrit le barrage en construction, Robert Smithson affirme que « si on le regarde comme une "scène autonome", il apparaît comme une œuvre d'art abstraite qui disparaît en se construisant »²⁵. Désormais, l'ancien barrage se rapproche de cet état originel, qui apparaît en se déconstruisant privé de son utilité et de sa forme complète. Quelle est la nature de cette ruine contemporaine, qui s'érode au-devant de l'immense surface voûtée ? Selon l'hypothèse de Walter Benjamin, le présent n'est jamais un point isolé dans la continuité chronologique. Au contraire, il est une constellation d'événements qui transcendent la temporalité et s'offrent au regard. Cette ruine forcée a la beauté de la condensation en un instant de fragments du passé et du présent. Les deux barrages qui composent le paysage décrits plus tôt n'ont rien en commun, si ce n'est une même origine et la volonté d'imposer un ordre sur le monde qui l'entoure. En revanche, ils sont les témoins de cycles qui dépassent la temporalité de l'homme, et cela à l'échelle du paysage, de la forme et du matériau. Le paysage que l'on essaye de voir dans ces deux formes étrangères incarne parfaitement la complexité de celui des Alpes. Le naturel a définitivement disparu au profit d'un palimpseste de constructions, de modifications morphologiques, de réarrangement des éléments. La nature est certes artificielle, mais n'en demeure pas moins la nature. Il est néanmoins parfois impossible de deviner la généalogie d'un élément, d'une forme ou d'un paysage, car provenant d'une trop grande épaisseur culturelle et historique. L'échelle des constructions

humaines dépasse désormais ce qui peut être détruit. Ainsi, les constructions, les infrastructures et arrangements paysagers ne disparaissent pas, mais plutôt se complètent, s'articulent, les uns servant de socle aux autres. Le premier barrage est le socle théorique et empirique qui permet la construction rationnelle du nouvel ouvrage. C'est un prototype qui permet de ne pas répéter les erreurs commises ayant entraîné la perte de son ancêtre, tout en illustrant une forme de faiblesse humaine. Ensuite, la masse de sédiments accumulés dans la première retenue est la matière première qui compose le nouveau mur. Celui-ci sera, en contrepartie, l'arrière-plan de la ruine pour quiconque s'approche par la vallée. Sur l'ancien ouvrage, le béton a tant vieilli qu'il est difficile d'imaginer la parenté du matériau. Sa surface est abîmée, fissurée par endroit alors qu'ailleurs, de grandes cicatrices, plus claires, semblent indiquer le cheminement des forces qui le parcouraient. Derrière, la grande voûte presque blanche, isotrope, est simplement marquée par les traces du coffrage qui dessinent de légères lignes plus sombres à sa surface. La confrontation entre l'objet du passé — l'ancien barrage — et la forme nouvelle — le nouveau barrage — est équivalente, quelle que soit la disposition des deux éléments dans l'espace. Il ne fait aucun doute que si l'ancien ouvrage venait à être entièrement détruit ou immergé, comme dans la reconstruction du barrage de la Spitalamm, la valeur de la ruine resterait la même. La ruine, dans cette situation, n'est pas le vestige d'un objet érodé par des forces extérieures, mais plutôt la mise en perspective d'un paysage contemporain avec des fragments d'un paysage passé. Elle est composée d'éléments nouveaux et anciens, visibles et invisibles. Cette ruine artificielle, celle du premier scénario, symbolise les grands cycles de l'humanité et le recommencement, la seconde chance utopique. Salvatore Settis développe cette réflexion en affirmant que la ruine est l'un des seuls média humains, à la fois tangibles et métaphoriques qui permettent à l'homme d'être confronté à des échelles temporelles qui le dépassent. En prenant l'exemple des ruines de l'antiquité, il avance que « les ruines signalent à la fois une absence et une présence : elles montrent ou plutôt, elles sont, une intersection entre le visible et l'invisible, car elles attestent en même temps la mort de l'antiquité et, en nous montrant ses traces présentes et prégnantes, nous en annoncent tout à la fois la renaissance »²⁶. Dans un sens, les deux barrages illustrent la décadence morale de l'homme qui ne semble plus intéressé, dans le processus de rationalisation du territoire, par la construction de formes qui persistent au-delà de la durée de sa vie. Il illustre aussi peut-être une forme d'optimisme, de positivisme aveugle dans l'innovation et le recommencement des cycles au milieu d'un environnement qui subit des mutations irréversibles.

²⁶ Salvatore Settis et Monica Preti, *Villes en ruine. Images, mémoires, métamorphoses* (Vanves: Hazan, 2015), p.25

27 Robert Smithson, « Frederick Law Olmsted et le paysage dialectique », in Robert Smithson : *le paysage entropique*. 1960-1973, s.d.

Le second scénario à trait à un genre de ruine différent. La ruine qui est envisagée ici se rapproche de la ruine romantique, célébrée par Piranesi. Pour Smithson, il s'agit d'une ruine pittoresque, un objet qui obéit désormais à des règles naturelles et se libère du contrôle humain. Elle tient plus du hasard qu'à un développement maîtrisé et mis en scène²⁷. Dans ce scénario, le barrage tel qu'il a été imaginé au 20e siècle ne correspond plus aux idéaux contemporains et le 21e siècle marque inévitablement l'achèvement définitif d'un cycle révolu.

2022 À l'aube de la deuxième décennie du siècle, les conditions économiques et politiques sont les mêmes que celles décrites dans le premier scénario. Les nouvelles énergies renouvelables subventionnées par les grandes puissances limitrophes de la Suisse dévaluent l'hydraulique suisse. Malgré la sortie progressive du nucléaire, les revenus liés à l'électricité hydraulique sont en baisse et les grands groupes électriques suisses imploseront bientôt. Les communes concernées récupèrent la partie mouillée des installations hydrauliques, alors que le canton rachète la partie sèche des infrastructures. Alors que les grands groupes électriques se démantèlent, l'état reprend le contrôle de la production énergétique. En se calquant sur le modèle des pays voisins, les autorités fédérales investissent massivement dans les nouvelles énergies vertes. Si l'énergie hydraulique peut garantir une production stable pendant une cinquantaine d'années, alors elle assurera une base solide pour une transition énergétique progressive. Dans ces conditions, il s'agit simplement de maintenir le secteur hydraulique à flot pendant un demi-siècle, afin d'éviter un trop fort déficit entre les importations et les exportations d'énergie.

2030 Le secteur des énergies renouvelables fournit désormais une quantité non négligeable d'électricité en Suisse. La fluctuation inhérente à leur production est compensée par les grands ouvrages d'accumulation alpins, qui mitigent la diminution progressive des apports en eau par des opérations de pompage-turbinage et par l'étalement de leurs aires de captage. Particulièrement efficace, le captage par puits sous les glaciers s'est généralisé à la plupart des barrages d'altitude, dont le bassin versant est entouré ou, en partie, recouvert de glaciers. En outre, de grands projets sont envisagés pour compenser la diminution progressive des précipitations et l'apport fluctuant des glaciers.

2050 Le béton des grands barrages se dégrade petit à petit par le gonflement des granulats réactifs aux alcalis. Si la sécurité des ouvrages n'est pas encore en péril, les ingénieurs sont désormais résignés. Les opérations de maintenance entreprises prolongent certes la durée d'utilisation des barrages,



f.5 Ruines du barrage de Saint-Francis, Californie du sud, 1928. Bloc transporté.

mais leur sort semble inéluctable. Dorénavant, il s'agit simplement d'accompagner la structure vers sa mort et de lui permettre de rester en vie aussi longtemps que possible. En parallèle, le recul des glaciers alpins a libéré de nouveaux sites propices à la construction de barrages. Des lacs naturels se sont formés dans ces cuvettes naturelles depuis une vingtaine d'années. Une dizaine de projets de grande ampleur ont été entrepris au cours de la décennie précédente, et leur construction arrive à terme. Les volumes de retenue, ainsi que les nouvelles technologies de turbinage, peuvent espérer compenser en partie la déchéance des grands barrages du 20^e siècle. Le premier de cette lignée construit en aval du barrage du Trift a été entrepris dès la fin des années 2010. Sa réalisation a servi de prototype pour une nouvelle génération de barrages, toujours plus éloignés de la civilisation.

2063 Les barrages remplaçant les langues des glaciers sont désormais en usage. Ils sont conçus dans une optique d'économie de matière et de durabilité. Plusieurs d'entre eux proposent différents programmes, outre leur fonction énergétique, comme touristiques ou scientifiques. Les apports énergétiques sont conséquents pour la Suisse. La dépendance aux pays limitrophes est limitée, dans la mesure où les prix sur le marché de l'électricité restent relativement bas. Les dernières centrales nucléaires sont en cours de démantèlement, avec de grands projets paysagers qui visent à rétablir l'état originel du site, après plus de soixante ans de production énergétique.

Simultanément, l'efficacité des mesures de maintenance

sur les grands barrages alpins est de plus en plus discutée. On soupçonne certaines structures de ne plus répondre aux normes de sécurité. Il est prévu que dans les dix prochaines années, la moitié des barrages soient vidés et mis hors d'usage. En cette fin d'année 2063, la réelle première alerte provoque l'évacuation d'une vallée et le réservoir est vidé en urgence. Les fissures sur le parement aval s'étaient brusquement élargies, alors qu'un mouvement anormal avait été décelé par les dispositifs d'observation du barrage. Si cela avait été une structure plus modeste, les dégâts auraient pu être catastrophiques en raison de la morphologie de la vallée, étroite et verticale.

Comme dans le premier scénario, les autorités décident que le barrage ne sera plus remis en état. Un pertuis est ménagé dans sa partie inférieure afin de rétablir l'écoulement naturel de l'eau et le site se dirige vers un rétablissement des conditions naturelles initiales utopique.

2070 Progressivement, les barrages sont libérés de leur fonction et demeurent immobiles en travers des vallées. Les grands murs silencieux ne s'opposent plus à l'écoulement de l'eau, bien qu'ils restent en travers du lit, car ils sont simplement évidés pour permettre le passage de l'eau. Au printemps, lorsque les neiges fondent, la rivière s'engouffre dans les pertuis et débouche de l'autre côté des barrages avec fracas. Les flots blancs s'approprient à nouveau du lit qu'ils avaient déserté pendant plus de cent ans, en aval du barrage, au grand dam de la végétation qui avait largement profité de la richesse du lit alluvial pour



f.6 Ruines du barrage de Saint-Francis, Californie du sud, 1928.

prospérer. Le paysage en amont est tel que décrit dans le premier scénario : calme, gris et horizontal. Quelques arbustes méditerranéens s'accommodent de cette terre sablonneuse, composée des sédiments accumulés dans la retenue. Pendant plusieurs années, la question de l'effacement des structures s'est posée entre les acteurs concernés, les communes, les cantons et la population. Pourtant, le débat était d'ores et déjà vain, il n'existe pas réellement de moyen pour démanteler de telles structures, dont les coûts de déconstruction seraient extrêmement élevés et rédhibitoires.

2090 Le barrage est abandonné depuis deux décennies. Le grand ouvrage anonyme, libéré de ses sollicitations, se détériore doucement, au gré des éléments et des fortes pluies qui sont désormais communes à cette altitude. Travaillées par le gel, les fissures strient violemment sa surface. Le couronnement se déploie comme un chemin sans point d'arrivée, à part traverser la vallée ponctuellement, contempler le paysage artificiel, que l'on appelle non sans humour « renaturé ». Viaduc étranger au paysage, il semble une infrastructure déplacée, décontextualisée, marquant autrefois la limite symbolique entre le domaine du construit et la nature sauvage. Si un nouvel équilibre biologique et hydrologique s'est désormais installé, les cycles du barrage ont altéré à jamais l'écosystème indigène de la vallée. Renaturer n'est alors qu'un léger réaménagement des rives alluviales et des versants qui jouxtaient la retenue. En définitive, c'est surtout une réadaptation des composantes naturelles aux nouvelles caractéristiques du lieu, plutôt que l'inverse. Le processus de ruine est un processus presque naturel et résulte d'un laissé faire humain relatif. À bien des égards, ce processus est pittoresque, dans le sens donné par Robert Smithson. Ce « pittoresque qui, tout bien considéré, est liée au hasard et changement dans l'ordre physique de la nature »²⁸ est en quelque sorte la part aléatoire dans l'évolution temporelle du monde physique, car il est bien une réalité physique, avant d'être une image mentale. « Loin d'être un mouvement propre à l'esprit, le pittoresque est fondé sur la réalité de la terre ; il précède l'esprit en ce qu'il existe matériellement à l'extérieur »²⁹. Dans le cas du barrage, ce sentiment pittoresque provient d'un évanouissement progressif de la structure dans son environnement. Par évanouissement, ce n'est pas la disparition physique de l'objet, car celui-ci s'inscrit sur des centaines d'années. Pourtant, de manière générale, le contraste du barrage avec son environnement a tendance à s'atténuer, alors que les éléments du paysage adoptent une expression commune, s'homogénéisent dans les nouvelles données hydrologiques et climatiques de la fin du 21^e siècle.

La matérialité converge vers l'expression de la pierre, fissurée, sombre et anisotrope. La forme perd peu à peu de sa pureté, travaillée par les réactions et les éléments. L'artificiel converge

²⁸ Robert Smithson, « Frederick Law Olmsted et le paysage dialectique », in *Robert Smithson : le paysage entropique*. 1960-1973, s.d.

²⁹ *ibid.*

30 Nietzsche, Friedrich, *Œuvres philosophiques complètes*. Fragment posthume, (Gallimard: Paris, 1976), XIII, 11, p.374

vers le naturel. Seul reste un belvédère, une possibilité physique d'atteindre des conditions passées révolues. Ce belvédère est le point culminant de l'infrastructure, qui a perdu ce statut à l'instant même où elle cessait de fonctionner. Il est aussi un point occupé par le glacier à un moment précis de l'Histoire, lorsque cinquante mètres de glace couvraient la vallée et avaient alors creusé ces formes dans les roches qui la bordent. Ce moment privilégié oscille entre conditions passées et présentes, offrant à l'homme la possibilité de comparer les fragments de sa civilisation et les temps qui en sont les témoins. Il y a plus de 100 ans, Nietzsche affirmait que « c'est là notre privilège [...] nous vivons à l'ère de la comparaison, nous sommes la conscience que l'histoire a d'elle-même un sens absolu. [...] la comparaison d'une pluralité inouïe constitue notre activité la plus instinctive (...) c'est l'époque de la comparaison ! C'est son orgueil — mais fort justement aussi sa souffrance »³⁰. Le paysage alpin est un paysage fragmenté, écartelé entre condition passée et présente, entre infrastructure et nature, entre ordre rationnel du territoire et spécificité du lieu. Ainsi, « lorsqu'une chose a accompli la courbe entière de son histoire, et alors seulement qu'elle semble parvenue à sa fin — devenue en un certain sens, une ruine —, elle devient vraiment urgente et actuelle. C'est seulement alors, en fait, qu'elle peut être saisie dans sa complétude et dans sa pleine signification — et donner ainsi une vie nouvelle et nourrir ceux qui la contemplent »³¹. La persistance de la forme du barrage, au-delà de ses années d'usage, le ramène au statut d'œuvre d'art à part entière, fragment d'une humanité passée qui nous offre cependant une certaine intelligibilité du passé, lorsqu'on parvient à le regarder non seulement avec les yeux de l'art, mais avec les yeux de l'histoire.

31 Salvatore Settis et Monica Preti, *Villes en ruine. Images, mémoires, métamorphoses* (Vanves: Hazan, 2015). p.26



f.7 Ruines du barrage de Saint-Francis, Californie du sud, 1928. Blocs transportés durant la catastrophe.

Epilogue



Epilogue

L'architecture infrastructurelle de Ledoux pour les Salines d'Arc-et-Senans soulève finalement l'ensemble des questions auxquelles cette étude essaye de répondre. Cette analyse des barrages dans les Alpes visait à dépasser la condition primaire de l'infrastructure hydraulique, machine productive et silencieuse, isolée dans les vallées alpines. Ce travail procède ainsi d'un déplacement, de l'ouvrage de génie civil vers l'architecture. Était-il possible alors de transcender l'image pragmatique des turbines et de la production énergétique pour y déceler des fragments artistiques, paysagers et architecturaux ? Il s'agit en définitive de replacer l'architecte au centre de la conception des infrastructures et, à la manière de Ledoux, de rétablir l'universalité de son travail. Née d'un désir de contrôler l'eau, quintessence de la vie sur terre, l'infrastructure hydraulique a dépassé son essence première. Le barrage n'est plus une simple utilité, un objet qui accumule l'eau afin de produire de l'électricité. Au cours du 20^e siècle, il a participé à la démocratisation du béton dans l'architecture, puis est devenu une curiosité, une attraction touristique en tant que telle. Il s'est mué en un élément symbolique d'un pays qui apprivoise son territoire, le rationalise, transforme les forces destructrices de la nature en énergie salvatrice. Derrière ces idéaux positivistes, derrière la virtuosité des ingénieurs et le courage des ouvriers, apparaissent pourtant en filigrane des ombres que Jean-Luc Godard au milieu du siècle n'a su déceler.

Il semble qu'à bien des égards le barrage, tel qu'il a été imaginé au 20^e siècle, soit un archétype obsolète, incapable de s'adapter aux nouvelles conditions de son environnement. Plus encore, il apparaît comme un objet qui dès sa création était paradoxalement décontextualisé. Le barrage a toujours été pensé comme une forme autonome, qui ne retire du site et du territoire

1 Alonzo, Éric. *L'architecture de la voie : histoire et théories*. Champs-sur-Marne : Marseille : École d'architecture de la ville & des territoires ; Éditions Parenthèses, 2018. p.496

que sa morphologie et le volume d'eau accumulé. Au-delà de cette pensée technique, la conception du barrage a traditionnellement fait abstraction de la discontinuité des cours d'eau, la sédimentation, le vieillissement du matériau ou l'engloutissement de bâti existant. Dès lors, les efforts de renouvellement entrepris au cours des dernières décennies peinent inévitablement à dissimuler les lacunes que les grands murs portent en eux. Dans *L'Architecture de la voie*, E. Alonzo assurait pourtant que la conception des infrastructures « se caractérise par la tension entre l'optimisation de leur fonction interne principale et la prise en compte des spécificités sociales, esthétiques et environnementales du site traversé »¹. Lorsque les constructeurs ont conscience de l'ensemble de ces implications, l'infrastructure « permet [alors] de satisfaire une multitude de fonctions complémentaires » et devient une œuvre architecturale « en soi », sans pour autant sacrifier la pensée rationnelle et pragmatique qui la dirige.

Par ailleurs, l'expérience paysagère et esthétique du barrage est puissante. L'acte est élémentaire, instinctif et rationnel. La forme pure s'oppose au ruissellement de l'eau. Le vaste jardin créé par les barrages et évoqué par Smithson est une construction artificielle, qui développe une dialectique complexe avec les éléments du paysage qui l'entourent. Le paysage des barrages est une composition d'éléments naturels et fabriqués, indiscernables néanmoins, entremêlés dans l'illusion. Les falaises sont percées de conduites, les arbres déracinés puis replantés, les cascades qui s'échappent des versants ne sont autres que des aqueducs d'acier, longs de plusieurs kilomètres qui dérivent les eaux des vallées voisines. La topographie est nivelée puis abandonnée, bientôt disparue sous quelques éboulements. Finalement, cette vision qui s'offre au regard n'est jamais le fruit d'un processus exclusivement naturel. Elle est le résultat d'un ensemble d'interventions humaines, palimpsestes d'actes conscients ou naïfs altérés et érodés de manière aléatoire.

Le centre de ces contemplations apparaît alors comme un « monument sans réel sujet de commémoration »², une forme abstraite soustraite à ses corollaires culturels, une machine à l'échelle des montagnes, de laquelle l'homme est absent. La fascination qu'exercent ces structures réside peut-être précisément dans ce dernier point. Elles ne semblent ni géologiques ni architecturales, incarnant l'ambiguïté du paysage des Alpes, forme étrangère aux montagnes et hors du paradigme humain tout entier. À la manière du monolithe de Kubrick dans *2001 : Space Odyssey*, le barrage est un événement, la matérialisation d'un idéal rationnel de la forme rejeté loin au milieu d'un paysage escarpé et hostile. Au-delà d'incarner la crise du concept de nature, puisqu'il ne peut parvenir réellement à s'accommoder des tourments de celle-ci, le barrage semble une construction inachevée. Du moins, sa présence crée un lien inconscient entre un passé révolu et un futur en construction. Ainsi, pour Bas Princen, « il

2 Geoff Manaugh, «The building has always been there» dans Princen, Bas et Vanessa Norwood. *The Construction of an Image*: Bas Princen. London: Bedford Press, 2016.

est difficile, voire impossible, de discerner si ces paysages sont dans un processus de construction ou de destruction, s'ils se construisent ou deviennent des ruines». La tension entre la réalité contemporaine et l'avenir des infrastructures hydraulique est rendue tangible par sa forme et sa matérialité. D'une part, le monolithe abstrait tend vers la perfection formelle, qu'il n'a néanmoins pas encore atteinte. D'autre part, sa façade de béton tend vers une lointaine phase géologique, se fissure et s'assombrit sous les sollicitations extérieures. L'infrastructure hydraulique se sédimente dans notre imaginaire sous la forme d'une image ambiguë, un champ de possibilités inachevées, tiraillées entre ses deux natures.

Cette ruine que Bas Princen aperçoit dans les paysages des barrages est sans aucun doute l'horizon vers lequel se dirigent les infrastructures hydrauliques contemporaines. Les difficultés économiques, politiques, sociales et physiques auront vraisemblablement raison du barrage tel que nous le connaissons. Peut-être parviendra-t-on à le maintenir en eau quelques décennies. Affaiblies par la sédimentation, la dégradation du béton et la diminution des apports en eau, les grandes pyramides anonymes seront peut-être abandonnées aux éléments, ou englouties par les lacs de barrages plus récents. Pourtant, au crépuscule des programmes nucléaires, l'hydroélectrique apparaît comme essentielle à l'équilibre énergétique suisse et à la transition énergétique amorcée. Si les opérations de maintenance sont cruciales à court et moyen terme, elles ne peuvent constituer une solution pérenne dans le traitement d'une pathologie profonde et héréditaire.

Il est donc nécessaire que le barrage se découvre une forme nouvelle, contemporaine et pertinente, au travers de la généalogie proposée dans cette étude. De la mise en scène de l'eau ledolcienne aux aqueducs romains, des utopies radicales italiennes aux ruines à l'envers de Smithson, il semble que le nouveau barrage ne puisse plus se contenter de sa condition de pure utilité. Il incombe alors à l'architecte de synthétiser les données du lieu, les nécessités rationnelles de la structure et de proposer une image cohérente du paysage, au travers d'une forme qui n'est plus seulement la résultante de paramètres techniques. Cette forme abrite désormais d'autres programmes qui se greffent au mur et rattache le barrage à son origine humaine. La périphérie n'est plus simplement au service de l'urbain, mais acquiert une existence propre. La nouvelle forme sera également la résultante d'un nouveau site, de nouvelles conditions topographiques propres au 21^e siècle. Le retrait progressif des glaciers libère petit à petit de nouvelles vallées de leur étreinte de glace. Après plusieurs millénaires dissimulées sous une épaisse couche blanche, les roches nues serviront bientôt d'appui pour de nouveaux barrages. La question éthique et environnementale inhérente à ces projets — est-il légitime de construire dans un site qui

3 Princen, Bas et Vanessa Norwood. *The Construction of an Image*: Bas Princen. London: Bedford Press, 2016.

« The sequence (Landscape and Architecture in an Image) ». « A second theme concerns the ambiguity between the natural and the man-made landscape. Several photographs depict the water infrastructure in California. (...) I began attempting to photograph the tension between the present and the future in such landscapes »

devrait être préservée autant que possible — relève alors de la responsabilité de l'architecte, qui a peut-être les connaissances nécessaires pour déterminer la pertinence de celui-ci.

À travers les scénarii proposés dans la troisième partie de cette analyse, deux perspectives ont été imaginées pour le barrage dans sa forme actuelle. Qu'elles soient modérées ou apocalyptiques, les deux ouvertures mettent en scène une ruine du barrage encore inconnue. Cette ruine peut être active ou inactive, visible ou invisible, préservée ou démantelée. En Suisse, la situation est telle que les barrages vétustes sont soit aménagés pour leur donner un second souffle, soit mis au second plan par la construction d'une nouvelle infrastructure en amont. L'exemple actuel le plus parlant est sûrement le projet pour le nouveau barrage de la Spitallamm. Dans quelques années, il sera submergé du liquide laiteux qu'il contenait; seul son couronnement restera, digne, en dehors de l'eau. Cet élément agira comme un lien entre passé et présent, voire futur, témoin d'une ère de constructions infrastructurales révolue. C'est un acte violent que va subir l'ancêtre de bientôt 90 ans. Pourtant, les images proposées pour le projet invitent à la rêverie. La nouvelle construction provoque un joint fluide entre lui et son parent, comme une piscine maintenue entre deux immenses murs de béton qui viendrait s'amarrer aux épaules rocheuses. Néanmoins, ce projet est un déni de la plastique forte du barrage de la Spitallamm, un escalier accolé à une voûte abrupte. C'est une nouvelle voûte mince, lisse et claire qui lui fera face et le cachera. Dans ses réflexions projectuelles, l'architecte s'intéresse aux éléments existants qui attestent du passé et crée des connexions temporelles, peu importe la manière de les matérialiser. Il est pertinent de s'interroger sur la forme qu'aurait pu avoir ce nouveau projet s'il avait été projeté suite à une collaboration professionnelle, en intégrant la donnée architecturale. La situation extrême du devenir de ces monstres en béton s'appuie sur l'ouvrage, laissé tel quel, abandonné dans son milieu. La catastrophe de Vajont dans les années 1960 a laissé derrière elle un barrage esseulé, au-devant d'une étendue minérale. La nature autrefois contrôlée, reprend ses droits pour remplacer la masse d'eau qui s'y trouvait jadis. La ruine prend une nouvelle dimension. Le barrage dialogue avec son histoire, le présent, son milieu, les touristes, les nouveaux chemins sinuant dans la cuvette où se trouvait le lac. L'enjeu de cet exemple est finalement de ne pas le considérer comme isolé, mais de le voir comme un élément paysager précurseur du futur visage alpin.

Nous avons entrepris cette analyse, car elle met en avant des enjeux contemporains majeurs, à savoir le paysage, l'économie, le climat, appliquées au cas du barrage. La situation alarmante des glaciers cristallise ces motifs. Ce sujet que nous souhaitons aborder pour le projet place ce géant de glace au

cœur du défi. Nous l'avons explicité précédemment, leur fonte libère de nouveaux sites propices à l'implantation de nouvelles structures hydrauliques. Pour cela, nous nous sommes arrêtés sur le glacier du Rhône, à la fois pour sa situation propice à l'élaboration d'un nouveau barrage et pour le symbole qu'il représente, la naissance du Rhône, fleuve majeur dans le territoire suisse. L'étude déroulée sur l'ensemble des chapitres nous a permis de comprendre la constellation de données condensées dans le barrage. L'enjeu de construire un barrage au bas de la langue glaciaire réside dans l'appropriation du paysage et des conditions environnementales et climatiques. Sans avoir l'ambition d'avoir un rôle salvateur, nous pensons qu'il est important d'envisager une construction de ces infrastructures de manière plus raisonnée afin de limiter les incidences de celles-ci. En outre, nous sommes touchés par l'agonie présente des glaciers. Le projet que nous envisageons serait un support pour faire prendre conscience des changements climatiques inquiétants qui se déroulent sous nos yeux. En alliant au barrage plusieurs programmes tels qu'un centre de recherche de glaciologie, des bains thermaux utilisant l'eau de la montagne, un hôtel pour accueillir chercheurs et curieux, nous dépassons la fonction purement utilitaire pour créer une machine hybride dans un milieu reculé. Nous imaginons ce barrage comme le condensateur de ces prédécesseurs, tel un monument témoignant du passé de l'hydraulique et s'adressant à son futur. Cet édifice serait le lien avec le corpus de barrages appartenant à l'idéal d'un siècle passé. Construire de nouveaux barrages fait encore sens en matière de production d'énergie, mais cette masse de béton ne répond ni à la problématique de l'économie de matériaux ni à l'invasion dans le paysage. En se projetant dans les siècles à venir, qu'en est-il de la rationalité d'une telle infrastructure ?

« pour [Kevin] Lynch, les capacités de l'infrastructure à s'offrir à d'autres utilisations ne doivent pas être cherchées dans des dispositifs techniques de modularité et de flexibilité, mais plutôt dans la permanence de la forme, de l'amplitude du dimensionnement, l'adaptation au site et une faible spécialisation fonctionnelle »

¹ Alonzo, Éric. *L'architecture de la voie : histoire et théories*. Champs-sur-Marne : Marseille : École d'architecture de la ville & des territoires ; Éditions Parenthèses, 2018. p.501

f.1 Photomontage du nouveau barrage de la Spitalamm. Chantier en cours. 2019-2025





f.2 Ruines du barrage de Vajont, 2017

Premières définitions

Le barrage est une infrastructure qui s'oppose à l'écoulement naturel d'un cours d'eau par la création d'un obstacle traversant de part et d'autre une vallée. Les eaux de ruissellement s'accumulent en amont de la structure dans un réservoir artificiel géologiquement étanche. En aval de la structure, le débit alluvial est drastiquement réduit. Le barrage est en ce sens, une intervention structurelle qui exerce une grande influence morphologique, hydrologique et biologique sur son environnement. L'acte de limiter l'écoulement naturel sur une fraction du territoire est une pratique ancestrale. Les premières formes connues de ces infrastructures remontent à cinq millénaires, en Chine, en Asie du Sud, en Mésopotamie et dans la vallée du Nil. La nature paradoxale de l'eau, vitale, mais destructrice parfois, explique la diversité des usages des barrages entre l'antiquité et l'aube du 21^e siècle. Il s'agit de garantir à une population un accès à l'eau, malgré les fluctuations annuelles, et de limiter les dégâts causés par les crues cycliques. Les retenues d'eau sont historiquement vitales à l'irrigation, à la navigation fluviale, à la pêche, à la protection contre les incendies ou à l'approvisionnement en eau potable. Plus récemment, elles sont devenues primordiales pour fournir en eaux industrielles, pour la production d'énergie hydroélectrique ou la production de neige artificielle. Les barrages protègent en outre contre les crues et les inondations, contre les avalanches et les éléments charriés par les cours des rivières et torrents.

Le barrage est par essence une infrastructure hybride ultra-spécifique. Il répond directement aux conditions induites par le milieu dans lequel il s'implante. L'étude scientifique du site liée à la géotechnique est l'un des principaux enjeux dans la conception d'un ouvrage hydraulique. En effet, la réaction des sols aux forces est très irrégulière puisque sa composition n'est que très rarement homogène. La non-linéarité, la non-réversibilité, la dilatation, les effets du temps et l'anisotropie caractérisent généralement les sols sur lesquels des poids importants vont s'exercer avec la mise en service de l'ouvrage. Chaque barrage résulte d'un processus de conception différente, spécifique et pragmatique, qui se fonde sur une connaissance extensive des données liées au milieu. La structure du barrage répond quant à elle à deux problématiques principales. L'efficacité statique, qui induit la transmission de la pression de l'eau aux fondations de l'ouvrage, et l'étanchéité de la retenue aux infiltrations d'eau.

Le choix du site

Le choix du site, lors des phases préliminaires à la construction d'un barrage, se fait en fonction d'une infinité de paramètres économiques, politiques, sociaux et environnementaux. D'un point de vue technique en revanche, les principales considérations concernent l'économie de moyen et de capital, un degré de sécurité maximal et la modération de l'impact environnemental de la construction. La décision concernant le site dépend alors de la morphologie de la vallée, de la composition géologique de celle-ci, de la disponibilité des matériaux de construction à proximité, mais aussi des conditions climatiques, la sismicité ou les crues potentielles cycliques de la zone. Ces considérations sont valables, quel que soit le type de barrage envisagé. La forme décidée pour le barrage est d'ailleurs une pure résultante de ces caractéristiques et de leur pondération.

Le barrage en remblai

Le barrage en remblai est la forme originelle du barrage. La conception de la structure repose sur un procédé empirique développé depuis l'antiquité. Une quantité suffisante de matériaux granulaires naturels permet d'obstruer une vallée et de créer une retenue. On distingue deux typologies dans la conception de ces ouvrages. Les barrages en terre sont construits à partir de matériaux meubles, prélevés dans des exploitations gravières, alors que les barrages en enrochement sont composés de matériaux de carrière concassés. La composition de ces barrages est induite par la disponibilité et les propriétés des matériaux sur le site de la construction future.

Matériaux

Dans le cas des barrages en terre, lorsque les matériaux meubles extraits du site sont suffisamment imperméables, la digue peut n'être constituée que d'un seul matériau homogène. Dans le cas contraire, il s'agit de combiner les matériaux en couches distinctes afin de concevoir une alternance logique en vue de leurs propriétés physiques. Le noyau central est composé d'un matériau relativement imperméable (argile, limon, moraine). La stabilité de ce dernier est assurée par un élément d'appui en amont et en aval. Les matériaux utilisés doivent garantir la stabilité structurelle, mais aussi le drainage de la structure et l'étanchéité du noyau. La disponibilité des matériaux à proximité du site détermine l'alternance des couches de matériaux et la mise en place de filtres entre celle-ci afin que leurs caractéristiques ne se détériorent pas par contamination des couches attenantes par migration de particules. Ces barrages en remblai zonés sont envisageables lorsqu'une quantité suffisante de matériaux imperméable est disponible pour la mise en œuvre du noyau. Dans le cas contraire, une autre disposition est trouvée. Les barrages à masque amont sont alors constitués d'une accumulation de matière homogène imperméabilisée à l'amont, par l'ajout d'une couche spécifique étanche. Ce masque peut être constitué d'une dalle de béton, d'une géomembrane étanche ou d'un revêtement bitumineux. La relative simplicité structurelle de ces barrages permet une mise en œuvre rapide par accumulation de couches de matériaux d'une épaisseur de 50 cm à 100 cm. La stabilité de l'ouvrage repose en grande partie sur la qualité du compactage des matériaux. En ce qui concerne les barrages en

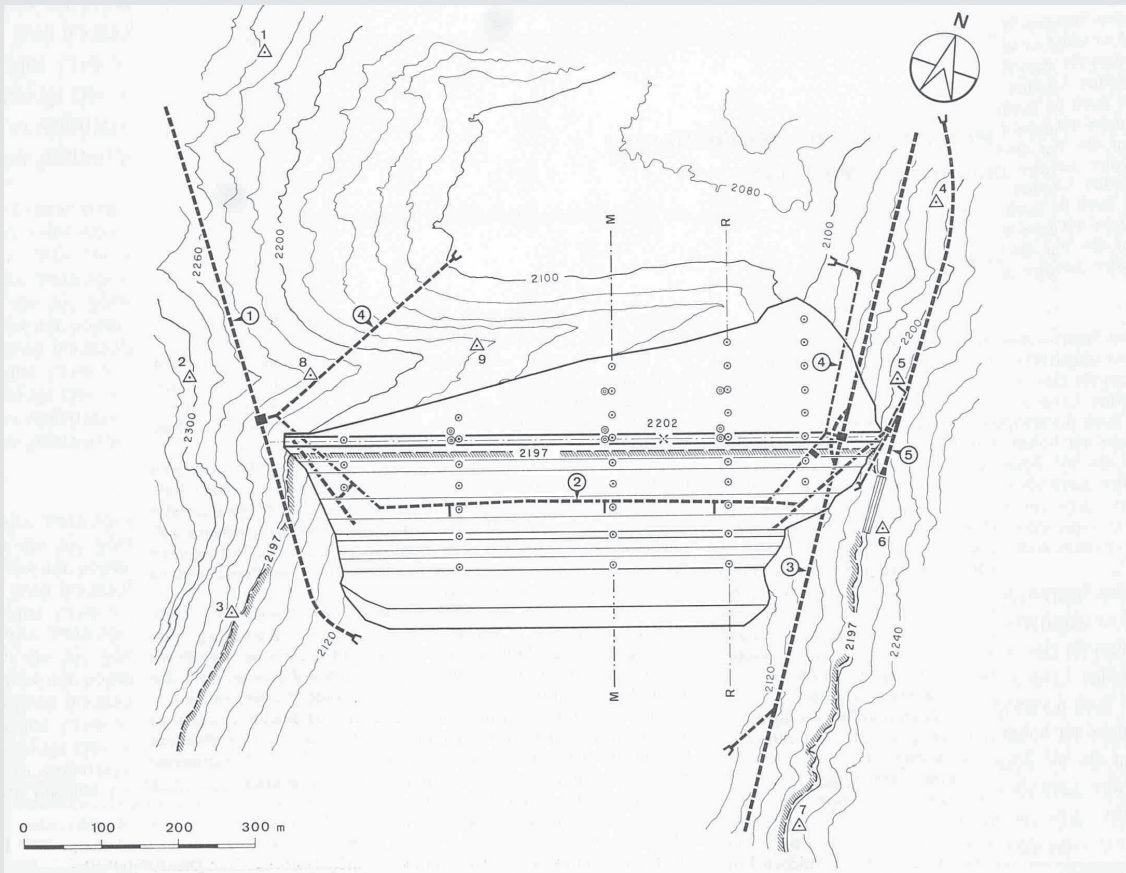
enrochement, la granulométrie des matériaux ne leur confère pas des propriétés d'étanchéité suffisantes. Ces extractions de carrières concassées constituent la composante statique de l'ouvrage et sont associées à d'autres éléments qui garantissent l'étanchéité, en noyau ou en masque.

Avantages, inconvénients

Les barrages en remblai présentent un nombre d'avantages non négligeable, liés à leur matérialité et leur forme. Premièrement, l'ensemble des matériaux sont extraits à proximité immédiate du site, soit à l'emplacement du futur lac d'accumulation, soit dans des aires d'extraction attenantes à la construction. La disponibilité de l'ensemble des matériaux constitutifs limite les dépenses énergétiques liées au transport des matériaux, ce qui est non négligeable pour les constructions en béton. Outre l'extraction à proprement parler des matériaux, ceux-ci ne demandent pas une transformation particulière et sont disposés en fonction de leurs propriétés physiques naturelles. En revanche, les appuis amont et aval de ces barrages sont mis en place sans appui structurel. La construction présente des pentes douces de part et d'autre du noyau, générant une emprise au sol très importante. Cela nécessite un grand volume de matériaux et donc un travail d'extraction intense, précédant le début de la mise en œuvre. L'étalement de la surface de contact entre le barrage et le sol naturel présente en revanche l'avantage de répartir efficacement les charges sur une aire importante. Les fondations de ce type de structure sont d'autant moins sollicitées par les charges propres à la structure et la poussée de l'eau retenue. La nature plastique des matériaux utilisés garantit à la structure une bonne réaction aux tassements des fondations et aux déformations morphologiques du site. Cependant, le procédé constructif des digues ne leur confère pas une bonne résistance à la submersion et il convient de surveiller attentivement pour éviter une rupture partielle, voire totale, de la structure. D'autre part, la construction d'un barrage en remblai nécessite plusieurs conditions particulières. Le site doit proposer un volume d'extraction potentiel suffisant pour les dimensions de la structure imaginée. Outre la quantité, les qualités physiques de ces matériaux doivent être en adéquation avec la forme projetée et le cas échéant, il faut prévoir une composition alternative dans les couches constitutives de la digue.

Paysage

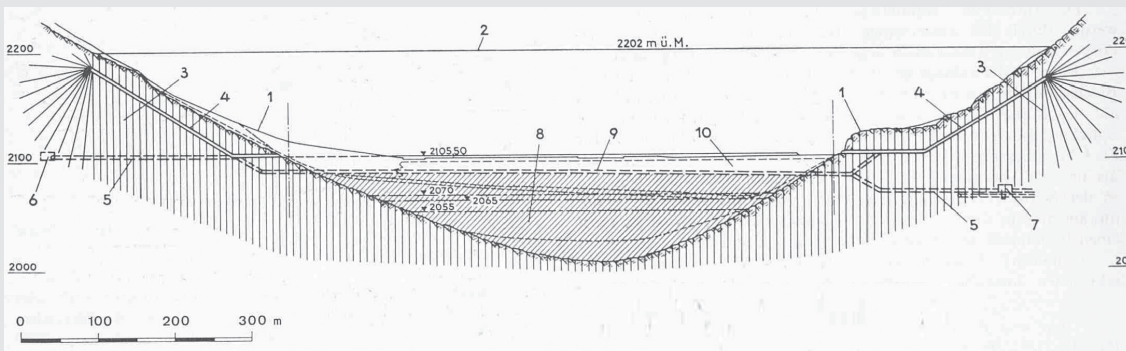
La forme du barrage en remblai est une résultante directe de la solidité des fondations du barrage. La pente douce, de part et d'autre de l'axe vertical médian du barrage, pose néanmoins la question de l'utilisation rationnelle du matériau et l'économie de matière inhérente à la conception de l'infrastructure contemporaine. Le barrage en remblai n'est finalement qu'une simple accumulation de matériaux disposés au travers d'une vallée, comme une curieuse formation géologique étrangement rectiligne. Il ressemble à une colline, tantôt rocailleuse, tant arborée, tantôt recouverte d'une mince couverture végétale. La digue tente de faire illusion quant à son origine. Son artifice se déguise derrière un parement d'herbe ou de roche, n'assumant que partiellement sa nature. Pourtant, il semble évident que cette forte ligne horizontale qui traverse le paysage n'est pas fruit du labeur d'un glacier disparu, mais qu'il s'agit bien d'une œuvre humaine. Cette forte horizontalité, appuyée dans certains cas par des routes ou des chemins qui serpentent à même le flan du barrage, constitue le principal enjeu esthétique de l'infrastructure. Depuis l'aval de la digue, cette ligne abstrait la profondeur des éléments en arrière-plan et les glaciers, versants et falaises se confondent. Les sommets semblent comme disposés sur un plateau dont le visiteur ne verrait que l'arrête, une sorte d'acropole artificielle sur laquelle seraient disposés quelques curiosités géologiques. L'expérience de ces structures n'égale pas l'intensité perceptive que la verticalité d'un barrage-voûte suscite dans l'imaginaire collectif. La beauté de la digue est d'autant plus subtile qu'elle tente d'effacer les traces de son origine et même de sa fonction. Lorsque le sujet arpente le couronnement du barrage, l'ouvrage ressemble plus à une voie qui traverse une vallée. D'ailleurs, la digue partage un nombre non négligeable de ressemblances avec la voie, de l'agencement de couches minérales variées à la disposition de talus en pente, de part et d'autre de l'espace de cheminement — la voie en elle-même — ou le couronnement. Malgré le relatif dédain qu'il suscite chez l'ingénieur, le pragmatisme de cette infrastructure et l'illusion qui résulte de sa présence font d'ores et déjà émerger un ensemble de questions à envisager lors de la construction d'une infrastructure hydraulique en milieu alpin.



Le barrage de Mattmark avec ses structures auxiliaires et le réseau géodésique.
Plan du site

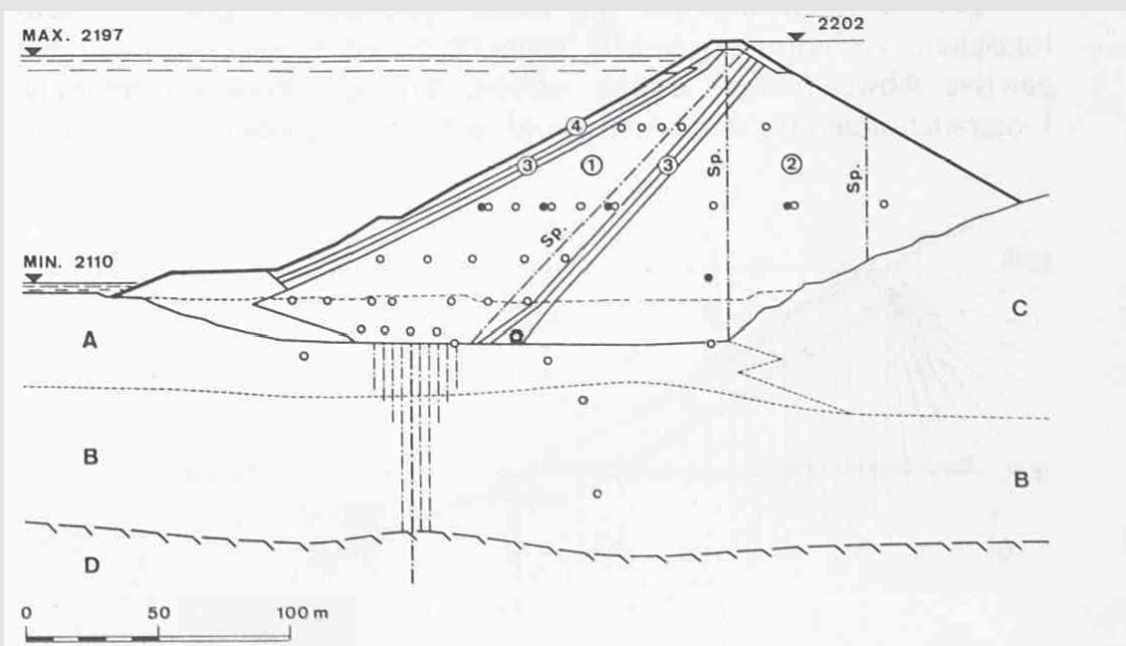
1. Conduite sous pression
2. Conduite de drainage
3. Vidange de fond
4. Galerie d'accès
5. Déversoir et drain central

- △ Mesure géodésique fixes
- Mesure géodésiques
- ⊙ Tassomètres



Coupe transversale de la vallée

1. Terrain naturel
2. Couronnement
3. Roches injectées
4. Galerie d'injection
5. Accès à la vidange de fond et la vanne d'étranglement
6. Salle de la vanne
7. Vidange de fond
8. Sous-sol rocheux meuble avec écran d'injection
9. Conduite de drainage
10. Limon superficiel



Coupe transversale type zonages du remblai et dispositifs de mesure

- A. Alluvion
 - B. Moraine de fond
 - C. Moraine frontale
 - D. Substrat rocheux
 - Sp. Niveau de tassement
 1. Noyau
 2. Recharge aval
 3. Zones de transition
 4. Enrochement
- Cellules de Pression hydraulique
 - Cellules de Pression électrique

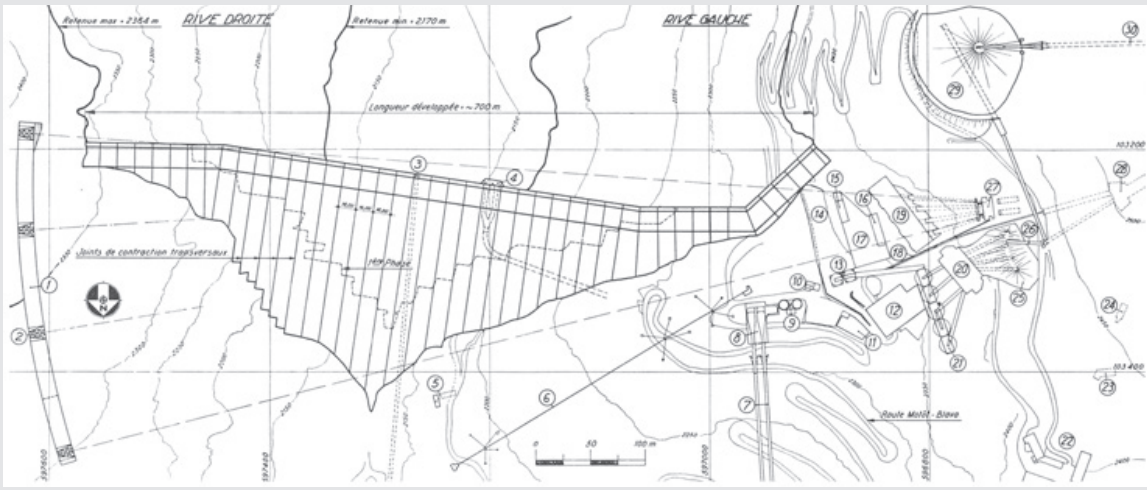
Les barrages en béton

Les barrages en béton sont principalement adaptés à une implantation sur des sols rocheux, qui caractérisent les régions de montagnes telles que les vallées glaciaires alpines. La structure de ces ouvrages est composée exclusivement de béton de masse non armé, dont la géométrie est dessinée pour limiter au maximum les efforts de traction. Le béton utilisé dans ces infrastructures nécessite une mise en œuvre mécanisée à cadence élevée. Le barrage n'est pas conçu comme une structure homogène indéformable. Il est un assemblage de blocs de béton de dimension régulière, séparés par des joints de dilatation pour garantir à la structure une relative élasticité, qui lui permet de s'adapter aux déformations du sol ou celles induites par les pressions de l'eau.

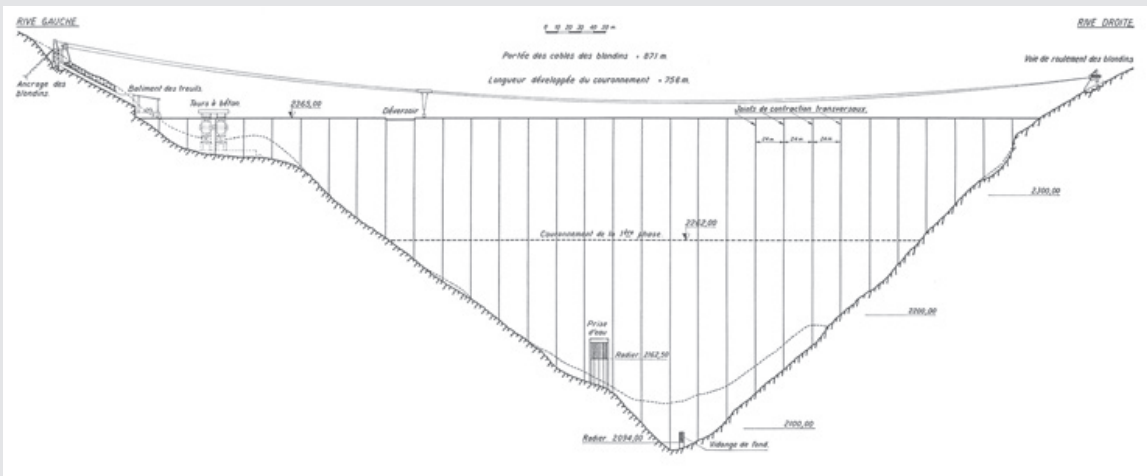
Le barrage-poids

Les barrages-poids sont conçus pour résister à la pression exercée de l'eau en amont grâce à leur poids propre. La masse de béton doit être suffisante pour empêcher tout renversement ou glissement de la structure. La géométrie de la section s'approche généralement de celle d'un triangle rectangle dont la largeur de fondation correspond à 0,8 fois la hauteur finale de l'ouvrage. La statique du barrage-poids s'articule autour de trois principes fondamentaux : l'autonomie des blocs, le frottement sur la fondation et l'absence d'effort de traction pendant les phases d'utilisation de l'infrastructure. Puisque c'est le poids propre du barrage qui s'oppose à son glissement, le barrage-poids doit être assis sur une base rocheuse qui subit peu de déformation et est relativement étanche. Le barrage-poids est un assemblage de bloc de béton massif, non armé travaillant exclusivement en compression. Par essence, le barrage-poids est largement surdimensionné, et la quantité de matière employée lors de sa construction n'est pas sollicitée de manière homogène dans la structure. Ainsi, les sollicitations dans le béton sont généralement relativement faibles. Par souci d'économie, les proportions de ciment dans la préparation du béton de masse sont assez limitées ; il en résulte un matériau peu performant qui compense sa faiblesse par d'immenses volumes impliqués. Avec les technologies contemporaines, il est possible de déterminer assez aisément quelles zones de la structure seront les plus sollicitées au cours des cycles d'utilisation, ce qui permet d'adapter le dosage des matériaux de manière précise. La taille des agrégats est également plutôt importante, car participant à la faible cohésion du matériau et à sa résistance nulle à tout effort de traction. À la manière du remblai, il est envisageable de parler d'une accumulation empirique de blocs de béton, selon un ensemble de règles relativement peu complexe. La réalisation du barrage-poids est facilitée par la conception en blocs autonomes. Chaque bloc est dimensionné en fonction de la cadence souhaitée au cours de la construction du barrage. Il est nécessaire de déterminer à l'avance l'ordre d'assemblage des blocs qui se développent généralement en escalier. En outre, il est nécessaire de contrôler la température de la structure lors de la mise en place du béton, car la masse empêche un refroidissement naturel du béton. Dans la plupart des cas, un système de refroidissement artificiel, par circulation d'eau notamment, est nécessaire. Finalement, l'ensemble de la structure est efficace à bien des égards. Les barrages-poids sont très versatiles et s'adaptent à la variabilité de la topographie alpine. Les contraintes sont faibles dans l'ensemble de la structure, car noyées dans l'immensité de la masse de béton. Il ne nécessite donc pas de matériaux très performants et se

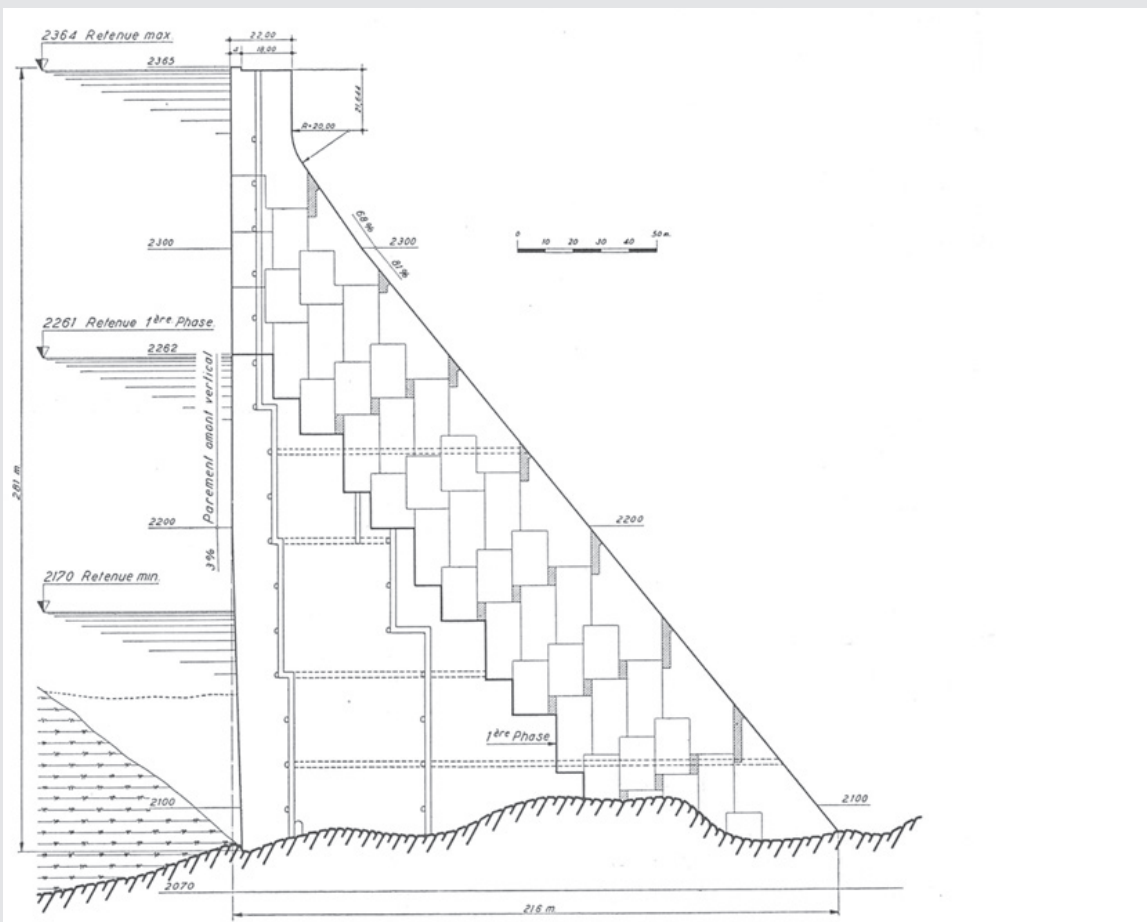
contente de dosages faibles en ciment. Cette infrastructure, bien que performante et sûre, utilise le matériau de manière peu satisfaisante. Les volumes de béton nécessaires à la construction des grands barrages-poids des Alpes, pendant le 20^e siècle, sont pharaoniques. Le barrage-poids pose la question de l'économie de moyen à une époque où elle devrait être l'une des préoccupations principales des architectes et des ingénieurs. Les voies de circulation à l'intérieur d'un barrage-poids sont peu impressionnantes. Seul l'imaginaire du visiteur nourri par la connaissance d'une masse de béton gigantesque qui l'entoure et le surplombe peut lui provoquer quelques sentiments tourmentés. Un éclairage monotone rythme une déambulation horizontale simplement marquée par la verticalité des pendules, le bruit de l'eau gouttant et les pas résonnants. Ces réflexions ont engendré un autre type de barrage, qui allie les principes statiques du barrage-poids, avec une optimisation géométrique de la structure.



Plan du barrage Grande-Dixence



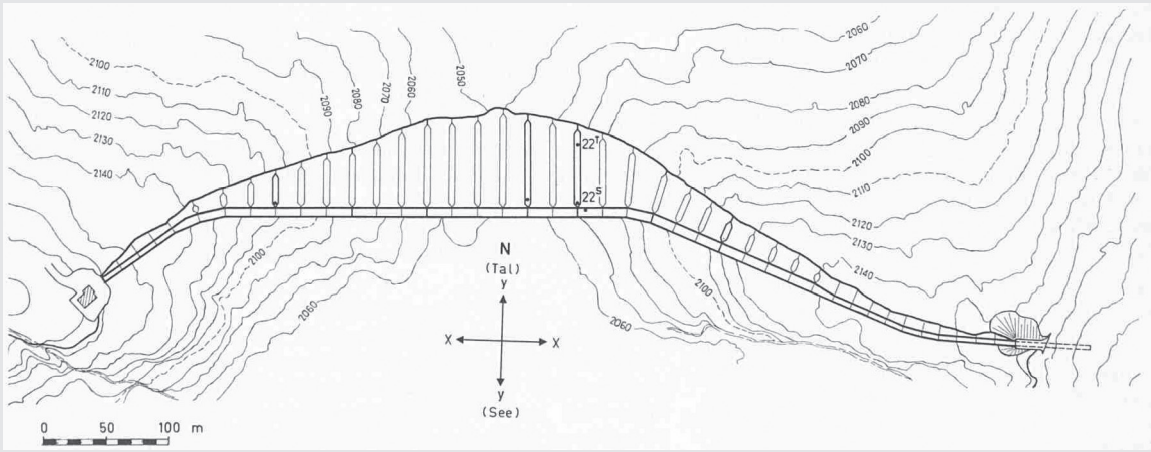
Élévation



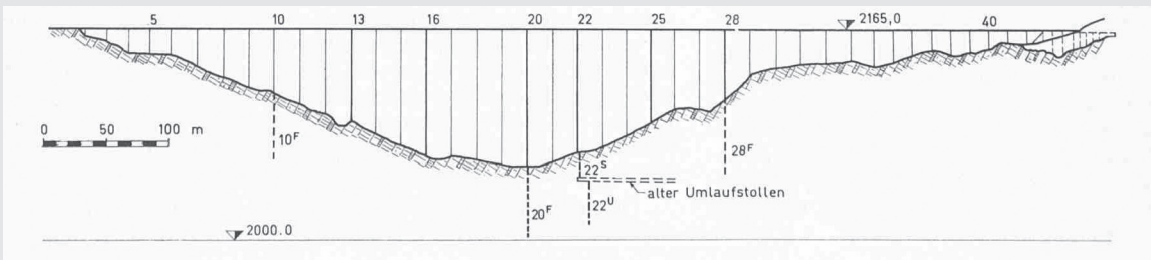
Coupe

Le barrage poids-évidé

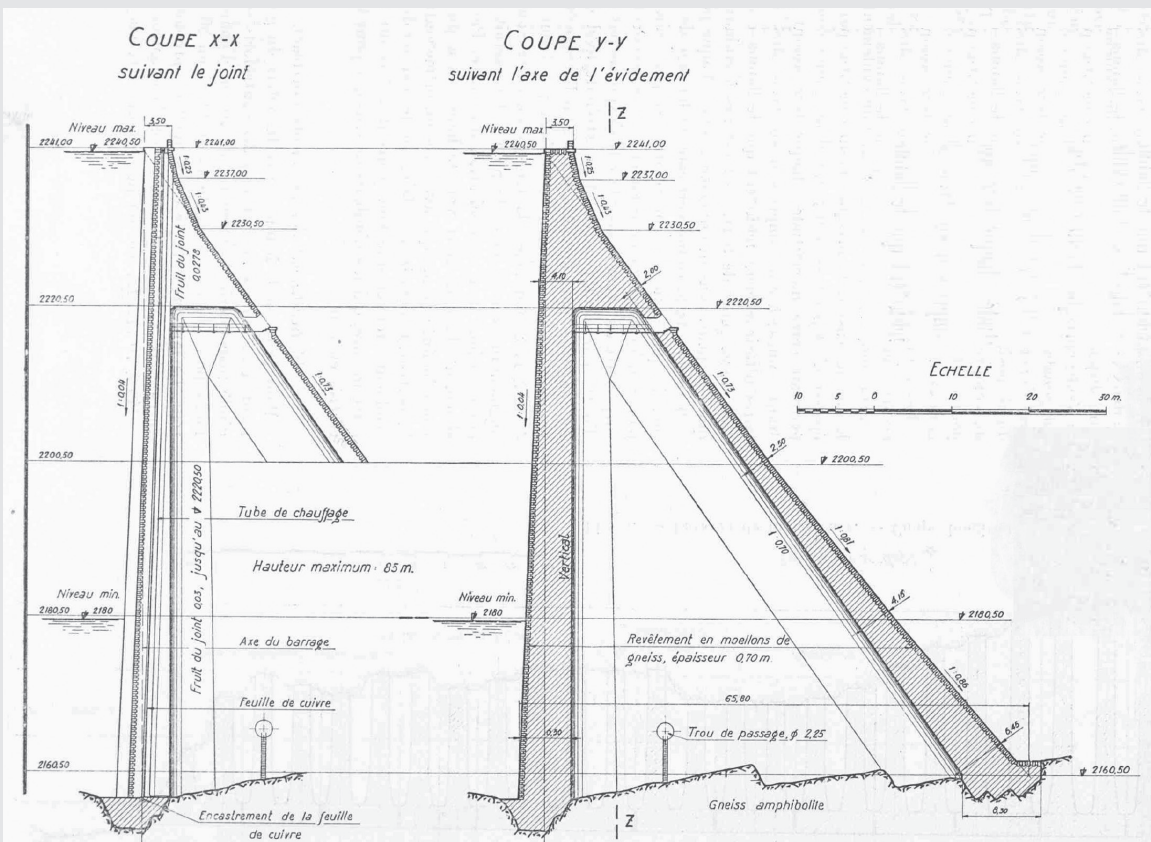
Le barrage-poids évidé permet, par rapport au barrage-poids, de réduire le volume de béton utilisé dans la structure et de faciliter le refroidissement de celle-ci. Si la géométrie extérieure reste sensiblement la même — si ce n'est une légère inclinaison du parement amont afin de verticaliser la pression de l'eau et des sédiments —, la structure interne s'évide et ménage de grands espaces entre les plots de construction. Ce type de barrage présente tangiblement les mêmes propriétés qu'un barrage-poids classique, néanmoins l'économie de matière lui confère une dimension plus rationnelle. L'économie de matière est fonction de la hauteur du barrage. Là où le barrage-poids est quadrillé par un réseau de galeries compactes et interminables, le barrage-poids à joints évidés s'articule comme un squelette alternant plein et vide. Ces cavités, dont la hauteur est sensiblement équivalente à la hauteur totale du barrage, offrent à voir cette beauté anonyme qui caractérise les barrages. Ces hautes nefs silencieuses rythment une traversée longitudinale du barrage, variant seulement au gré des roches de fondations existantes. Dans leurs entrailles, ces structures exposent leur jonction à la pierre. Elles se plient et se déplient à chaque ressaut de roches.



Plan du barrage Albigna



Élévation



Coupes

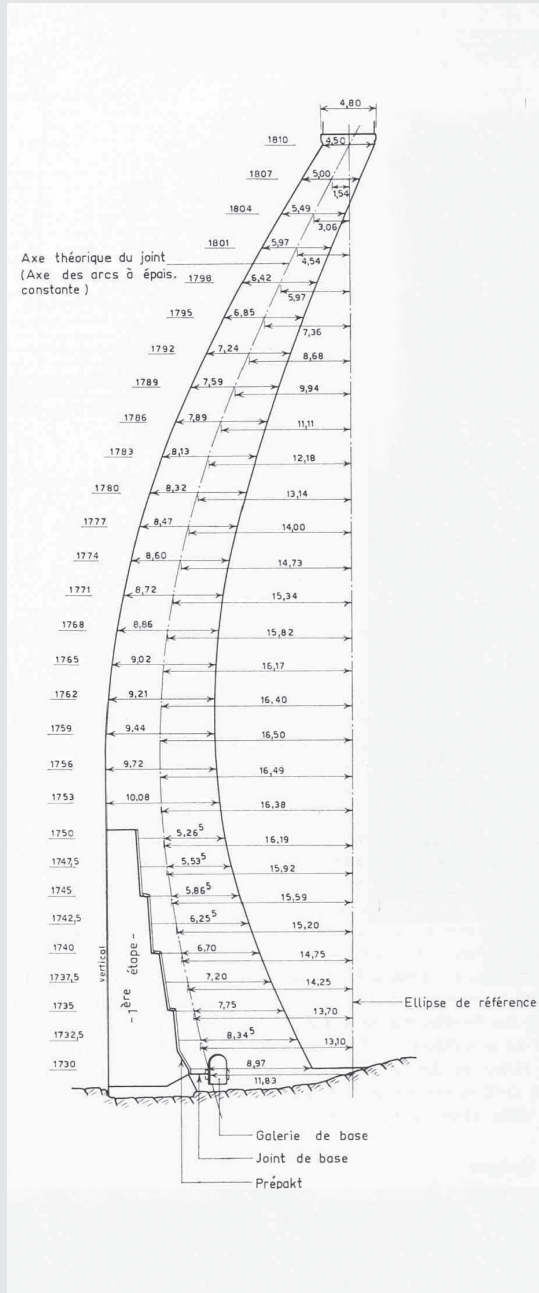
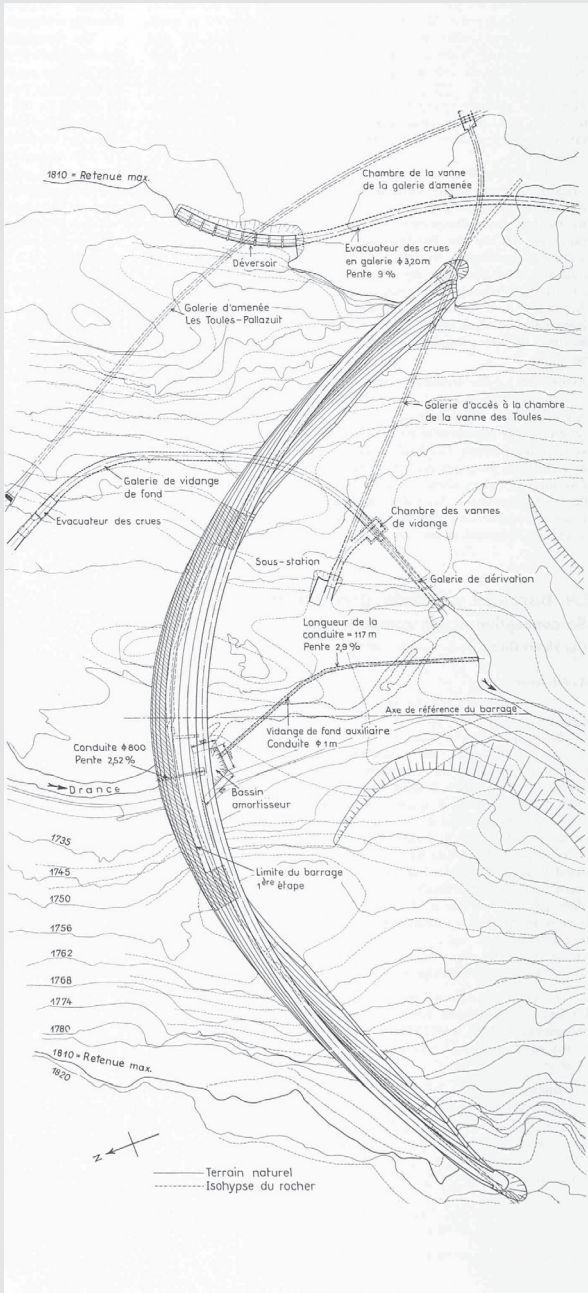
Le barrage à contrefort

Le barrage à contrefort arbore également un profil triangulaire. Néanmoins, les faces amont et aval sont inclinées. À la manière d'une cathédrale gothique, les contreforts conduisent les poussées vers les fondations. Les sollicitations à la base sont concentrées à l'appui des contreforts. La qualité des roches et des fondations doit donc être excellente. Il est envisageable, afin de réduire la concentration des efforts, d'élargir la base des contreforts. Ils sont disposés le long de l'axe du barrage et sont séparés par un joint de dilatation. Cette forme de barrage, tout comme le barrage-poids évidé, permet de réduire largement la quantité de béton utilisé. En revanche, la surface de coffrage est plus importante et plus difficile dans l'exécution. De nos jours, la main d'œuvre représente souvent un investissement plus conséquent que la matière première. Par conséquent, cette forme est souvent délaissée au profit de géométries plus simples. La géométrie des contreforts distingue la tête — élément sommital — et l'âme. La faible masse doit être compensée par une forte inclinaison du parement aval afin de prévenir tout glissement du contrefort. Cette géométrie génère une composante verticale, due à la poussée de l'eau contre la structure, qui stabilise l'ensemble du barrage. Les barrages à voûtes multiples, ou à dôme multiple, sont des barrages à contrefort spécifiques. Les lames soutiennent de minces voûtes en béton armé, afin de soulager la structure des contraintes dues à la température. Le barrage à contreforts apparaît comme une structure rationnelle qui fait un usage raisonné de la matière. Ces barrages sont composés d'éléments équivalents, de vertèbres, qui composent une longue colonne en travers de la vallée. La structure semble plus articulée et également plus expressive. L'alternance de pleins et de vides est ponctuée par l'évolution de la topographie. La régularité des éléments s'avère ordonner le paysage qu'ils composent.

Le barrage-voûte

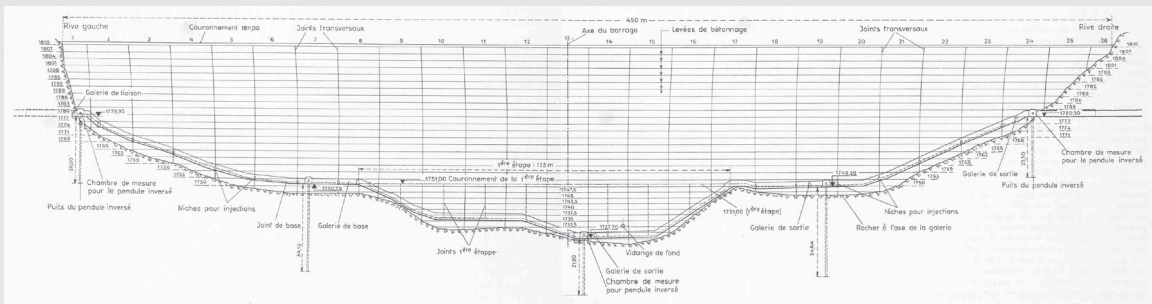
Le barrage-voûte est un barrage construit nécessairement en béton de masse dont la géométrie est courbée en plan. Cette forme résulte d'une optimisation de la matière qui est mieux utilisée. Le principe de la voûte est de transmettre aux appuis latéraux, l'ensemble des poussées de l'eau sachant que les flancs de la vallée reprennent la majorité de ces poussées. Les barrages-voûtes se distinguent selon quatre catégories en fonction de certains éléments. La voûte peut-être mince — l'épaisseur est de 10 % à 20 % de la hauteur — ou épaisse — l'épaisseur dépasse 25 % de la hauteur. En outre, on distingue les barrages-voûtes cylindriques — à simple courbure — et les barrages-voûtes à double courbure. On construit le barrage-voûte également par plot, à la différence que les joints doivent être remplis avant la mise en eau. De cette manière, le barrage-voûte réagit comme un monolithe et transmet plus efficacement les efforts horizontaux jusqu'aux rives.

Si le barrage-poids peut s'adapter à n'importe quelle topographie — c'est-à-dire sans restriction de longueur —, le barrage-voûte est seulement adapté pour des topographies bien particulières. On nomme élancement le rapport entre la longueur du couronnement et la hauteur du barrage-voûte. En règle générale, l'élancement ne doit pas dépasser la valeur de 4 ou 5. Ce rapport dépend principalement de la géologie du site d'implantation. Le barrage-voûte se développe en symbiose avec la résistance des matériaux du site et la forme même du barrage. Il est, selon les ingénieurs, la forme la plus satisfaisante dans l'utilisation des matériaux et la répartition des poussées. La géométrie simple et radicale du barrage-poids disparaît au profit d'un mur qui se courbe et s'arcboute. Le sujet qui arpente son couronnement se trouve dans une certaine mesure, suspendu au-dessus du vide. Le belvédère qu'offre ce type de barrage est alors le point culminant de l'expérience de l'infrastructure.



A gauche : vue en plan du barrage des Toules

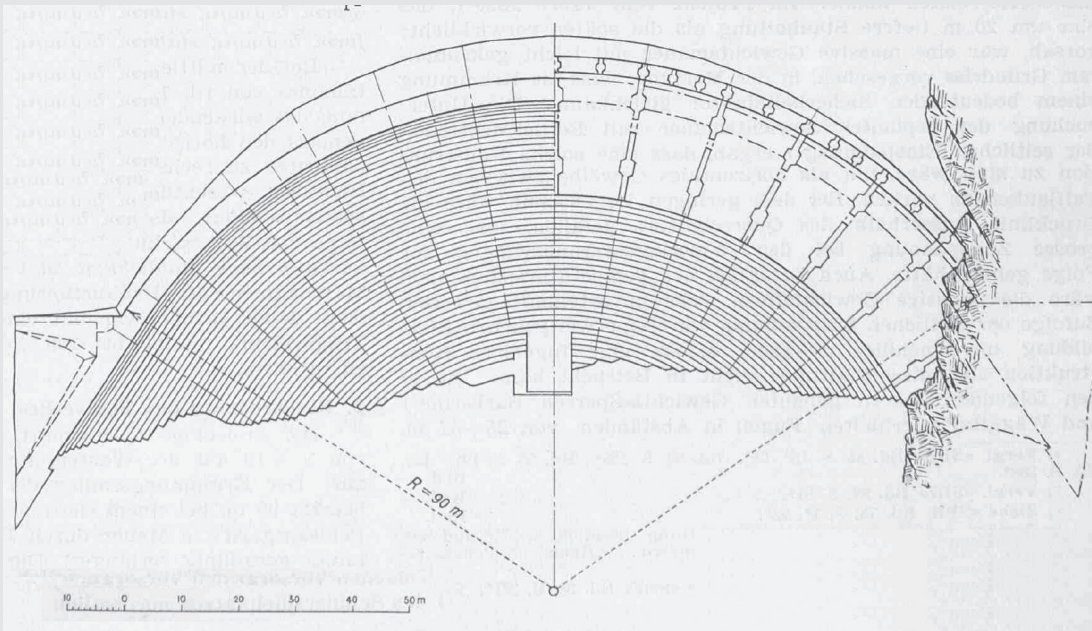
A droite : coupe à la clef



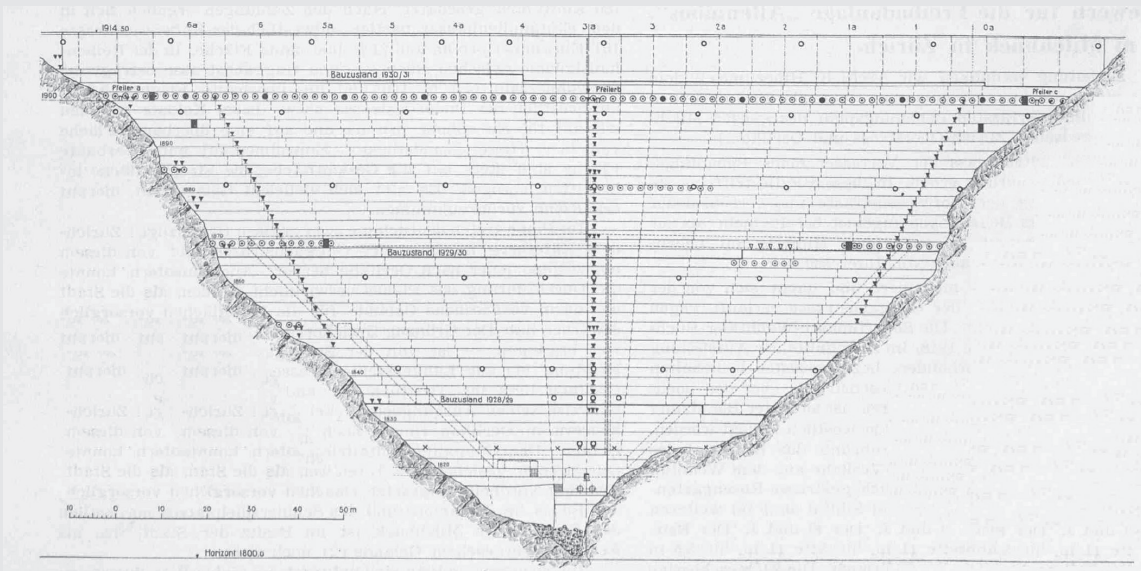
Coupe en long du barrage des Toules (moitié gauche)

Les barrages hybrides

Dans certaines situations de site, il n'est pas possible de générer une forme « pure », c'est pourquoi certains barrages sont des compositions de typologies qui crée un hybride. Il existe par exemple des barrages-poids voûte ou des barrages-poids incurvés. En combinant les formes, les différents avantages sont associés pour former un nouveau monstre.

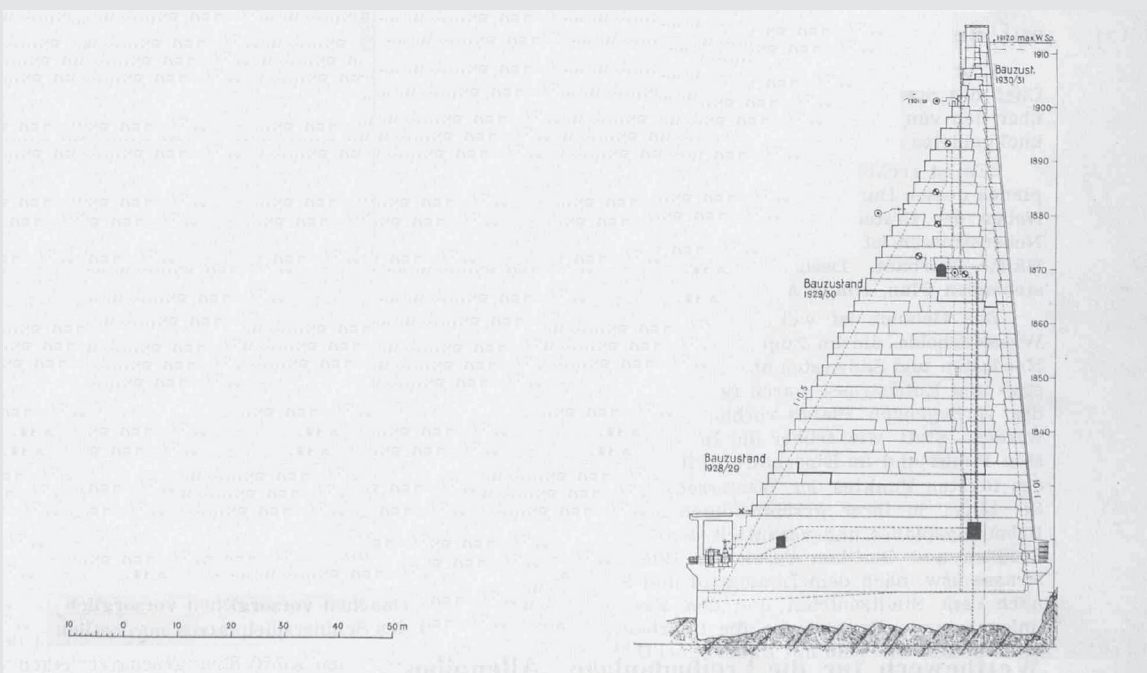


Spitallammsperre der K. W. O. Draufsicht, rechts Horizontalschnitt



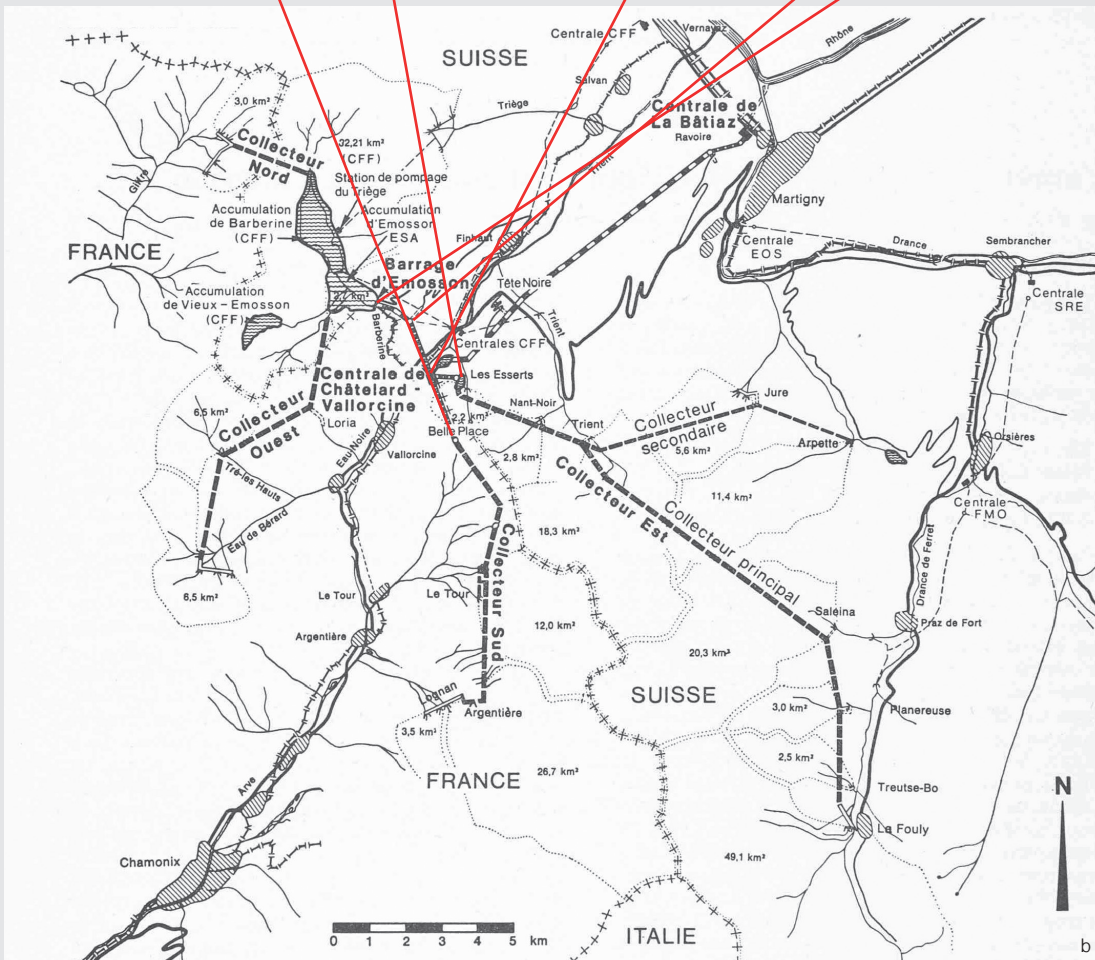
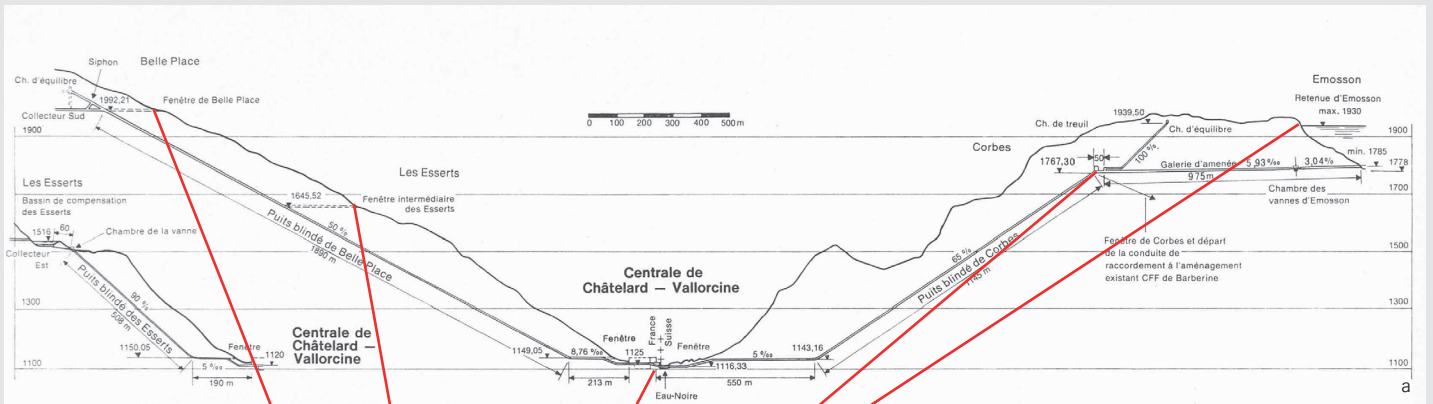
Die Spitallammsperre der Kraftwerke Oberhasli. Abgewinkelte Ansicht der Luftseite

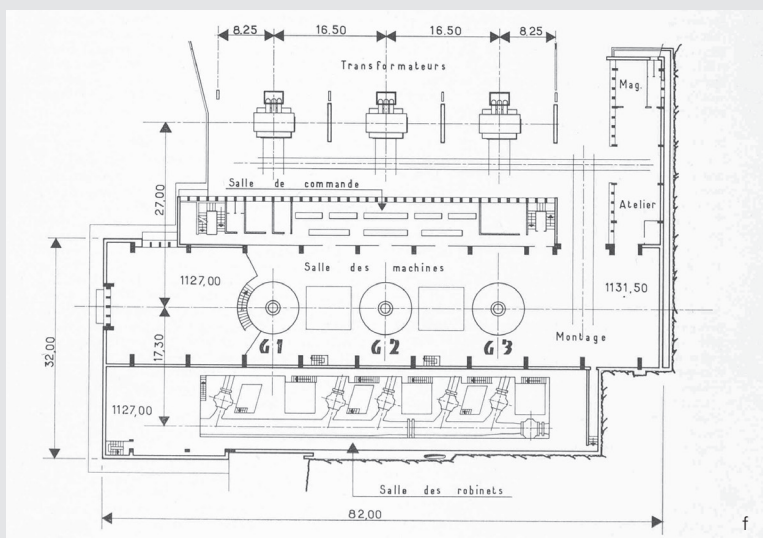
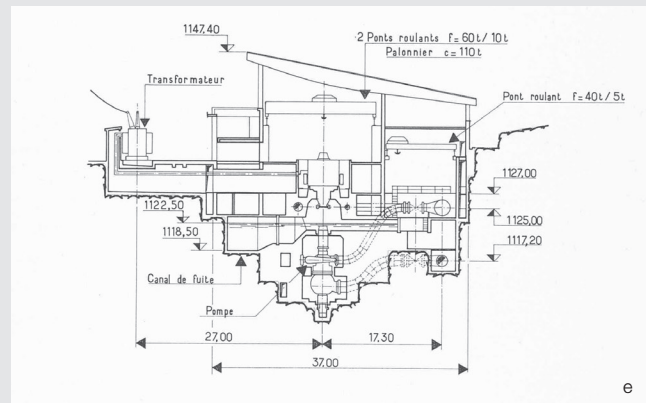
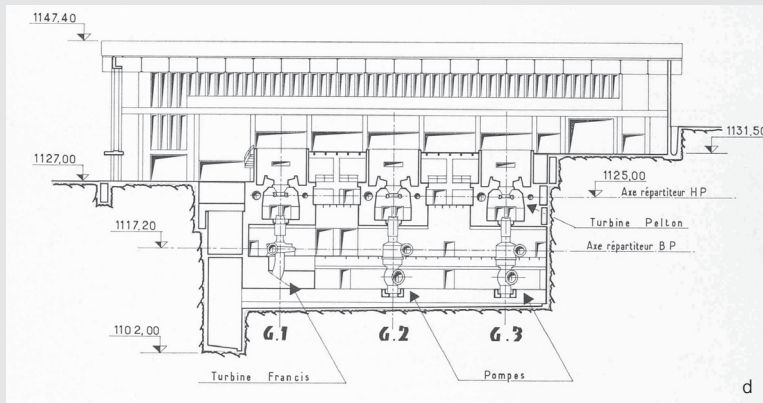
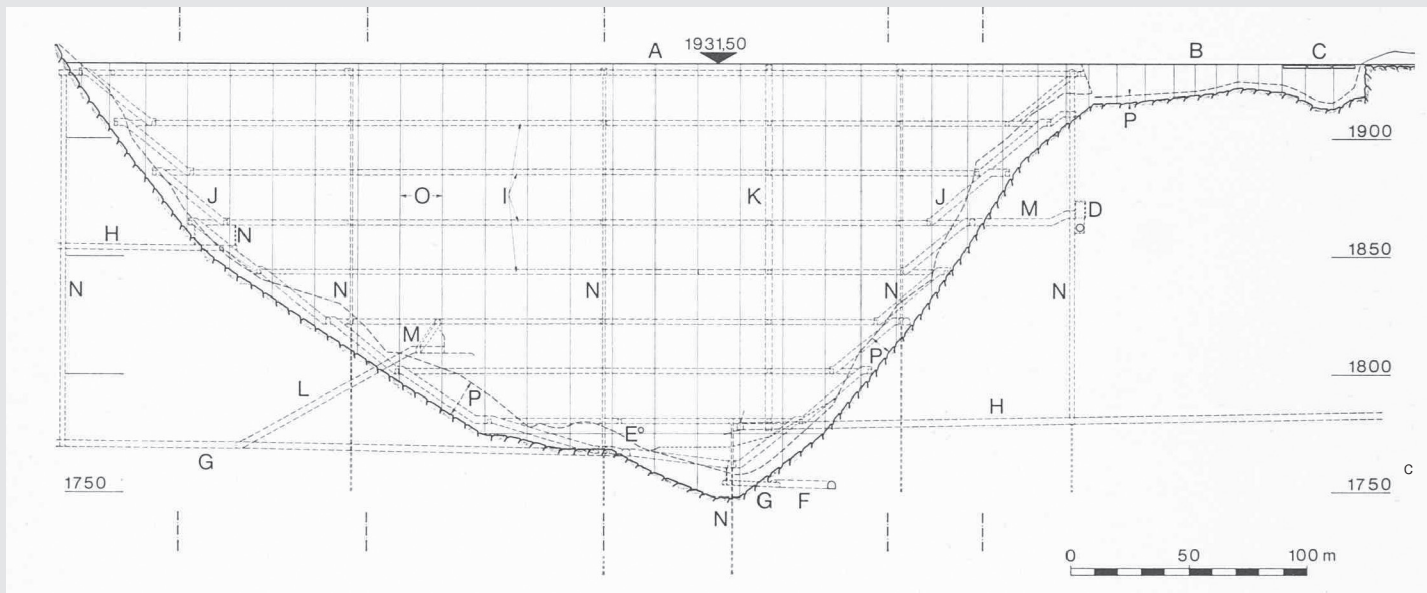
- Von 1932 an trig. beobachtete Mikr. Bolzen
 - Bolzen
- Bolzen der trigonom Mauerbeobachtung
 - Bolzen für den Mikrometerstab
 - ⊙ Bolzen für den Mikrometerstab in den fugen
- Nivellementsbolzen
 - ⊗ Deformationsmessugen am rechten Widerlager
 - ▼ Bolzen für den Mikrometerslab
 - ▽ Vertikal-Deformationsmessungen (Klinometerslab)
 - ▽ Pendel zur Messung der Mauerdurchbiegung



Schnitt im Scheitel ; Messbolzen

Réseau tentaculaire du barrage d'Emosson

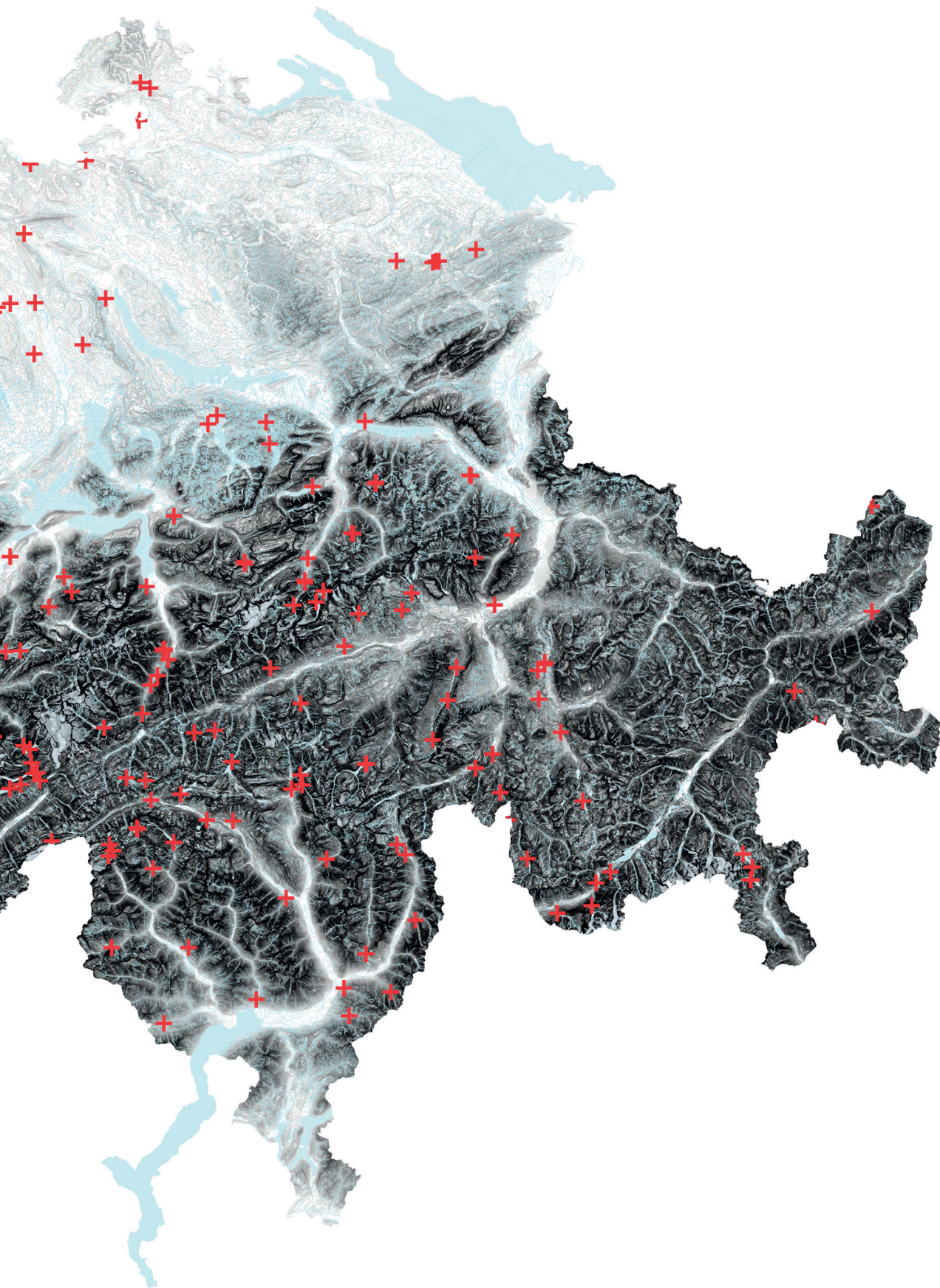




- a. Chute Emosson - Le Châtelard et Les Esserts Profil en long
- b. Plan de situation
- c. Coupe longitudinale développée du barrage
- d. Coupe longitudinale de la centrale
- e. Coupe transversale de la centrale
- f. Coupe horizontale de la centrale

Suisse : barrages, lacs, glaciers, écoulements - 1 / 1 000 000





Orthophotos des barrages visités



BARRAGE : Albigna
TYPE : barrage-poids
ANNEE : 1959



BARRAGE : Emosson
TYPE : barrage-voûte
ANNEE : 1974



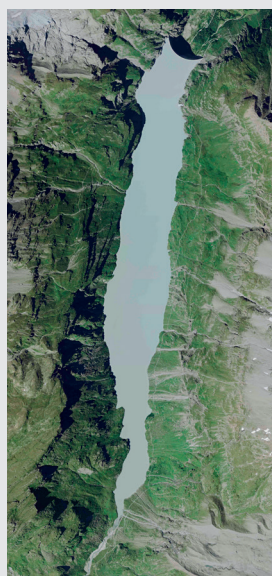
BARRAGE : Göschenalp
TYPE : barrage en enrochement
ANNEE : 1962



BARRAGE : Grande-Dixence
TYPE : barrage-poids
ANNEE : 1961



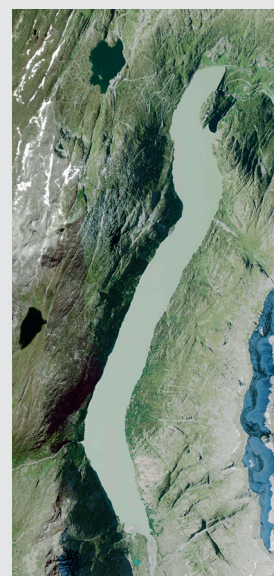
BARRAGE : Mattmark
TYPE : barrage en terre
ANNEE : 1969



BARRAGE : Mauvoisin
TYPE : barrage-voûte
ANNEE : 1957



BARRAGE : Muttsee
TYPE : barrage-poids
ANNEE : 2016



BARRAGE : Spitalamm
TYPE : barrage-voûte
ANNEE : 1932



BARRAGE : Les Marécottes
TYPE : barrage-multivoûtes
ANNEE : -



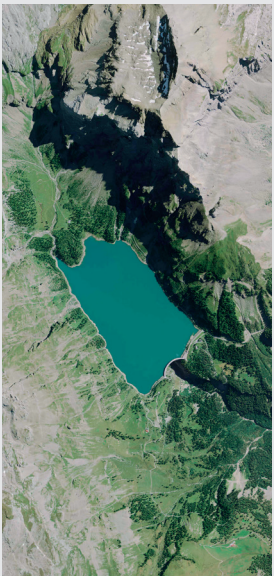
BARRAGE : Les Toules
TYPE : barrage-voûte
ANNEE : 1963



BARRAGE : Lucendro
TYPE : barrage à contrefort
ANNEE : 1947



BARRAGE : Marmorera
TYPE : barrage en terre
ANNEE : 1954



BARRAGE : Zeuzier
TYPE : barrage-voûte
ANNEE : 1957

Données techniques des barrages visités

Albigna

type de barrage : poids évidé
 début de construction : 1955
 durée du chantier : 4 ans
 mise en service : 1959
 altitude : 2165 m
 hauteur du barrage : 115 m
 longueur du couronnement : 759 m
 volume du barrage : 926 000 m³
 volume de la retenue : 70 000 000 m³
 bassin versant : 20.51 km²

Emosson

type de barrage : voûte
 début de construction : 1969
 durée du chantier : 5 ans
 mise en service : 1974
 altitude : 1930 m
 hauteur du barrage : 180 m
 longueur du couronnement : 554 m
 volume du barrage : 1 000 000 m³
 volume de la retenue : 227 000 000 m³
 bassin versant : 183.16 km²

Göscheneralp

type de barrage : enrochement
 début de construction : 1955
 durée du chantier : 7 ans
 mise en service : 1962
 altitude : 1797 m
 hauteur du barrage : 155 m
 longueur du couronnement : 540 m
 volume du barrage : 9 300 000 m³
 volume de la retenue : 76 000 000 m³
 bassin versant : 42.3 km²

Grande-Dixence

type de barrage : poids
 début de construction : 1951
 durée du chantier : 10 ans
 mise en service : 1961
 altitude : 2364 m
 hauteur du barrage : 285 m
 longueur du couronnement : 695 m
 volume du barrage : 5 960 000 m³
 volume de la retenue : 400 000 000 m³
 bassin versant : 340 km²

Les Marécottes

type de barrage : multivoûte
 début de construction : 1923
 durée du chantier : 6 ans
 mise en service : 1929
 altitude : 1106 m
 hauteur du barrage : 119 m
 longueur du couronnement : 225 m
 volume du barrage : 1 925 m³
 volume de la retenue : 50 000 m³
 bassin versant : - km²

Les Toules

type de barrage : voûte
 début de construction : 1960
 durée du chantier : 3 ans
 mise en service : 1963
 altitude : 1811 m
 hauteur du barrage : 86 m
 longueur du couronnement : 460 m
 volume du barrage : 235 000 m³
 volume de la retenue : 20 500 000 m³
 bassin versant : 78 km²

Lucendro

type de barrage : contrefort
 début de construction : -
 durée du chantier : - ans
 mise en service : 1947
 altitude : 2135 m
 hauteur du barrage : 73 m
 longueur du couronnement : 268 m
 volume du barrage : 154 000 m³
 volume de la retenue : 25 000 000 m³
 bassin versant : 7.05 km²

Marmorera

type de barrage : terre
 début de construction : -
 durée du chantier : - ans
 mise en service : 1954
 altitude : 1684 m
 hauteur du barrage : 91 m
 longueur du couronnement : 400 m
 volume du barrage : 2 700 000 m³
 volume de la retenue : 6 000 000 m³
 bassin versant : 89 km²

Mattmark

type de barrage : terre
 début de construction : -
 durée du chantier : - ans
 mise en service : 1969
 altitude : 2196 m
 hauteur du barrage : 117 m
 longueur du couronnement : 780 m
 volume du barrage : 10 500 000 m³
 volume de la retenue : 100 000 000 m³
 bassin versant : 88 km²

Mauvoisin

type de barrage : voûte
 début de construction : 1955
 durée du chantier : 4 ans
 mise en service : 1959
 altitude : 1976 m
 hauteur du barrage : 250 m
 longueur du couronnement : 520 m
 volume du barrage : 2 110 000 m³
 volume de la retenue : 211 500 000 m³
 bassin versant : 114 km²

Muttsee

type de barrage : poids
 début de construction : 2010
 durée du chantier : 6 ans
 mise en service : 2016
 altitude : 2476 m
 hauteur du barrage : 35 m
 longueur du couronnement : 1050 m
 volume du barrage : 225 000 m³
 volume de la retenue : 23 430 000 m³
 bassin versant : 2.84 km²

Spitallamm

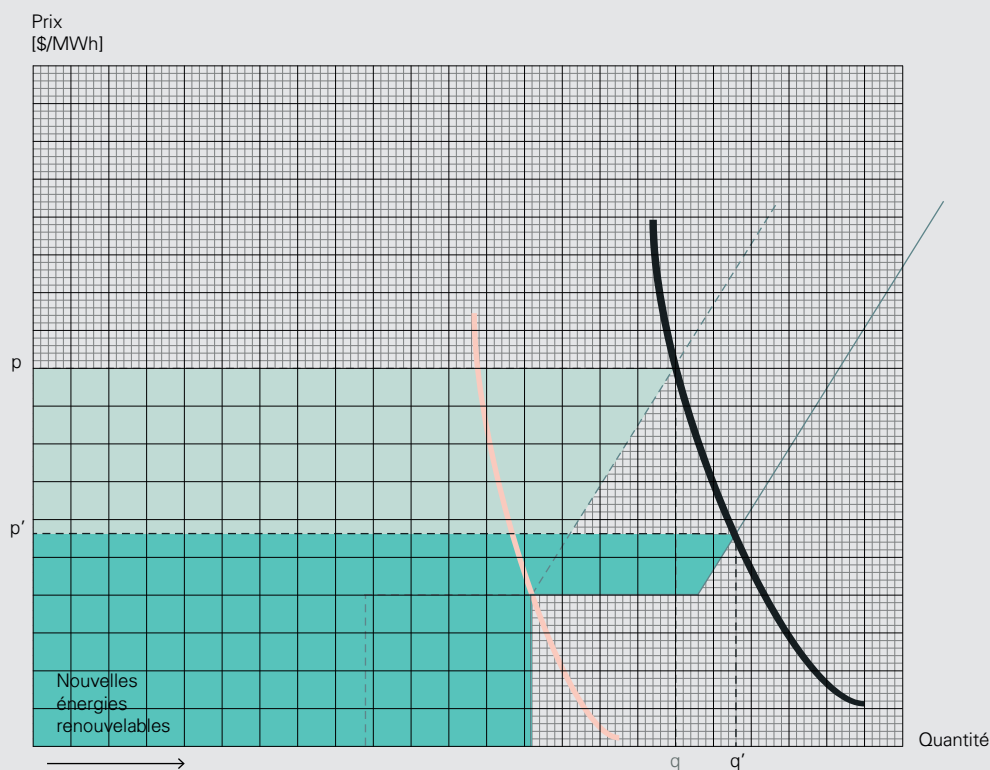
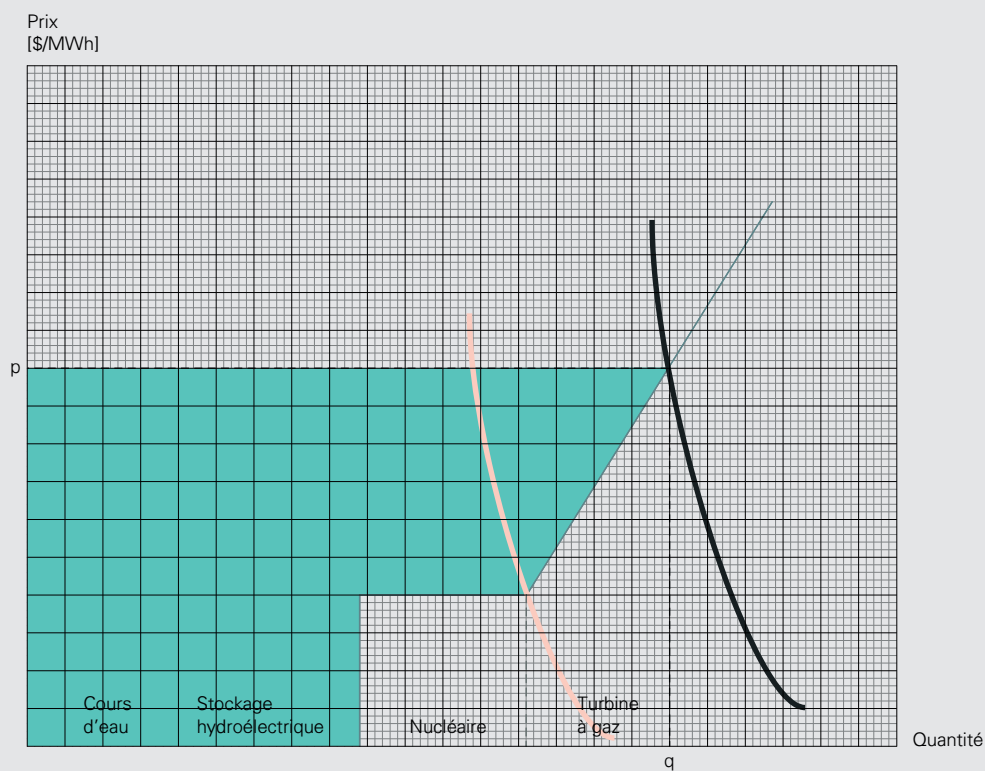
type de barrage : poids voûte
 début de construction : -
 durée du chantier : - ans
 mise en service : 1932
 altitude : 1911 m
 hauteur du barrage : 114 m
 longueur du couronnement : 258 m
 volume du barrage : 338 000 m³
 volume de la retenue : 93 900 000 m³
 bassin versant : 89.5 km²

Zeuzier

type de barrage : voûte
 début de construction : 1953
 durée du chantier : 4 ans
 mise en service : 1957
 altitude : 1778 m
 hauteur du barrage : 156 m
 longueur du couronnement : 256 m
 volume du barrage : 300 000 m³
 volume de la retenue : 126 000 000 m³
 bassin versant : 33 km²

Économie du marché de l'électricité

f.1

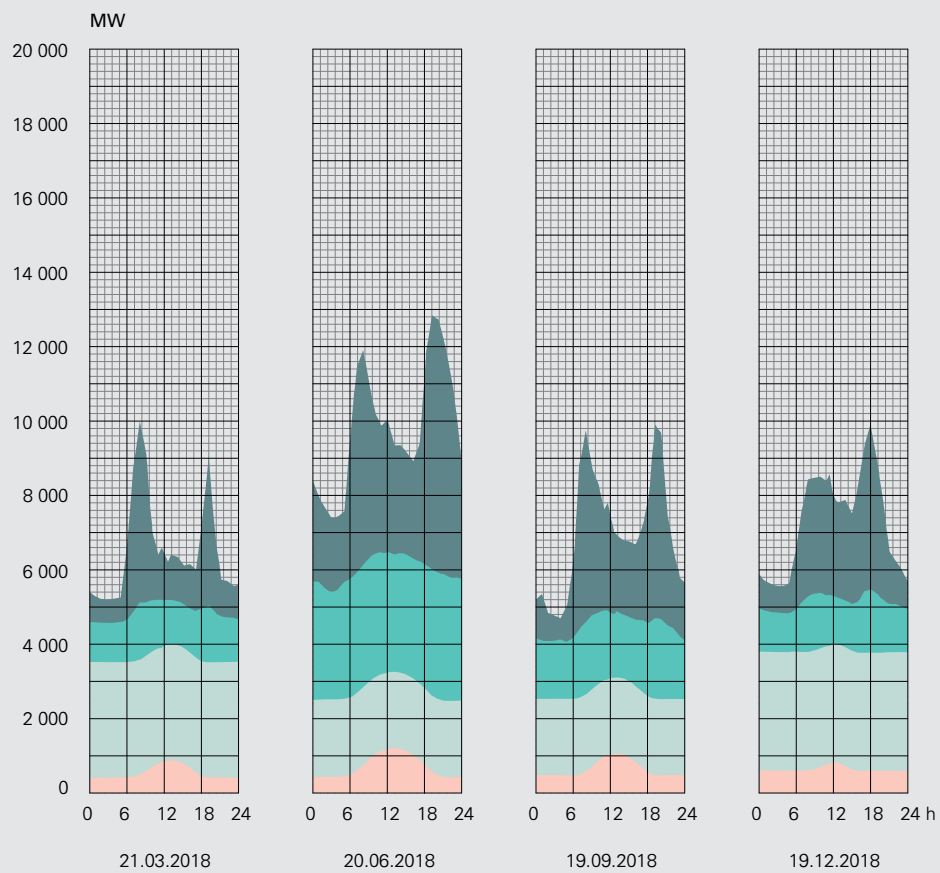
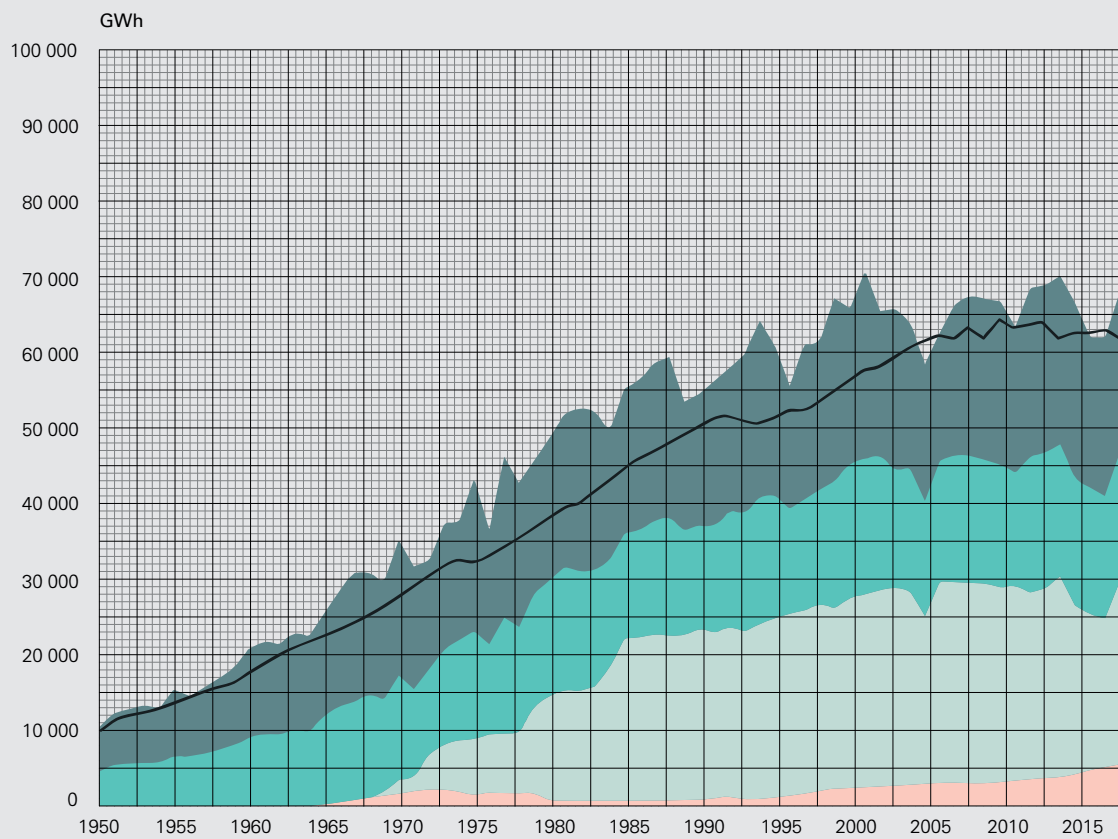


f.1 Impact de l'introduction de nouvelles énergies renouvelables sur le prix spot et par conséquent sur la rentabilité.

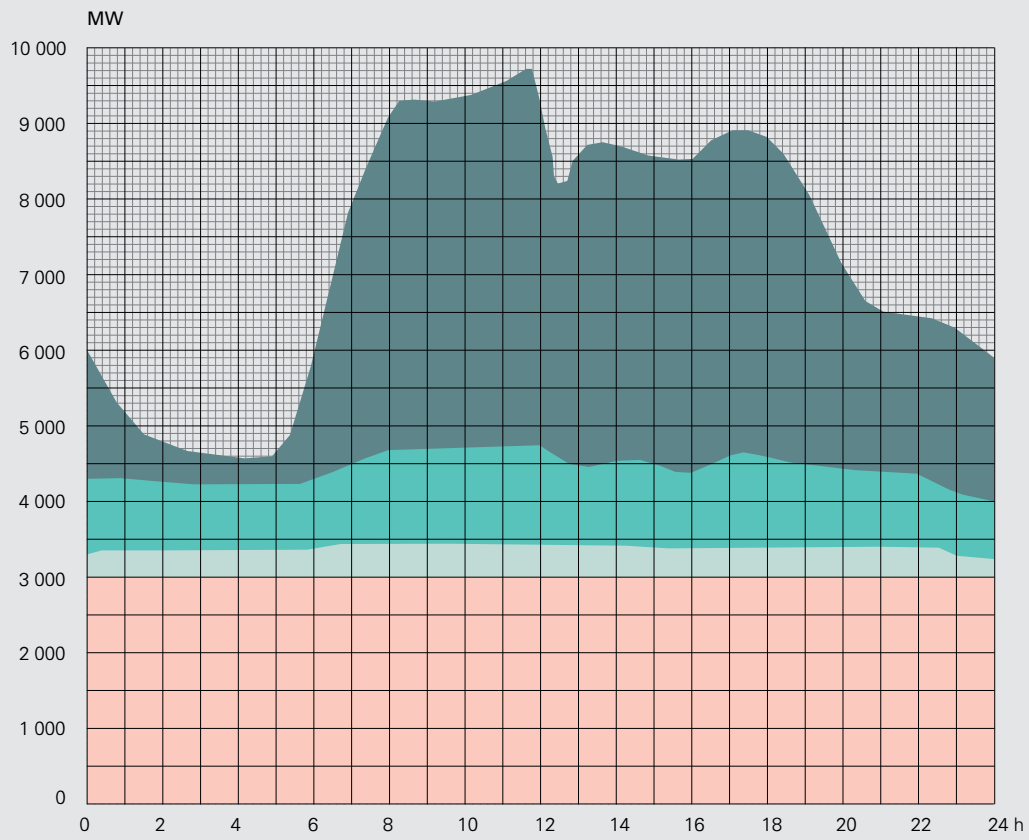
- Rentabilité
- Demande maximale (jour)
- Faible demande (nuit)
- Offre

Production de l'énergie électrique en Suisse

f.2



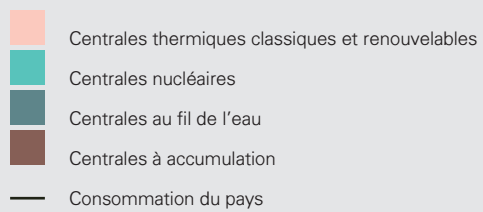
f.3



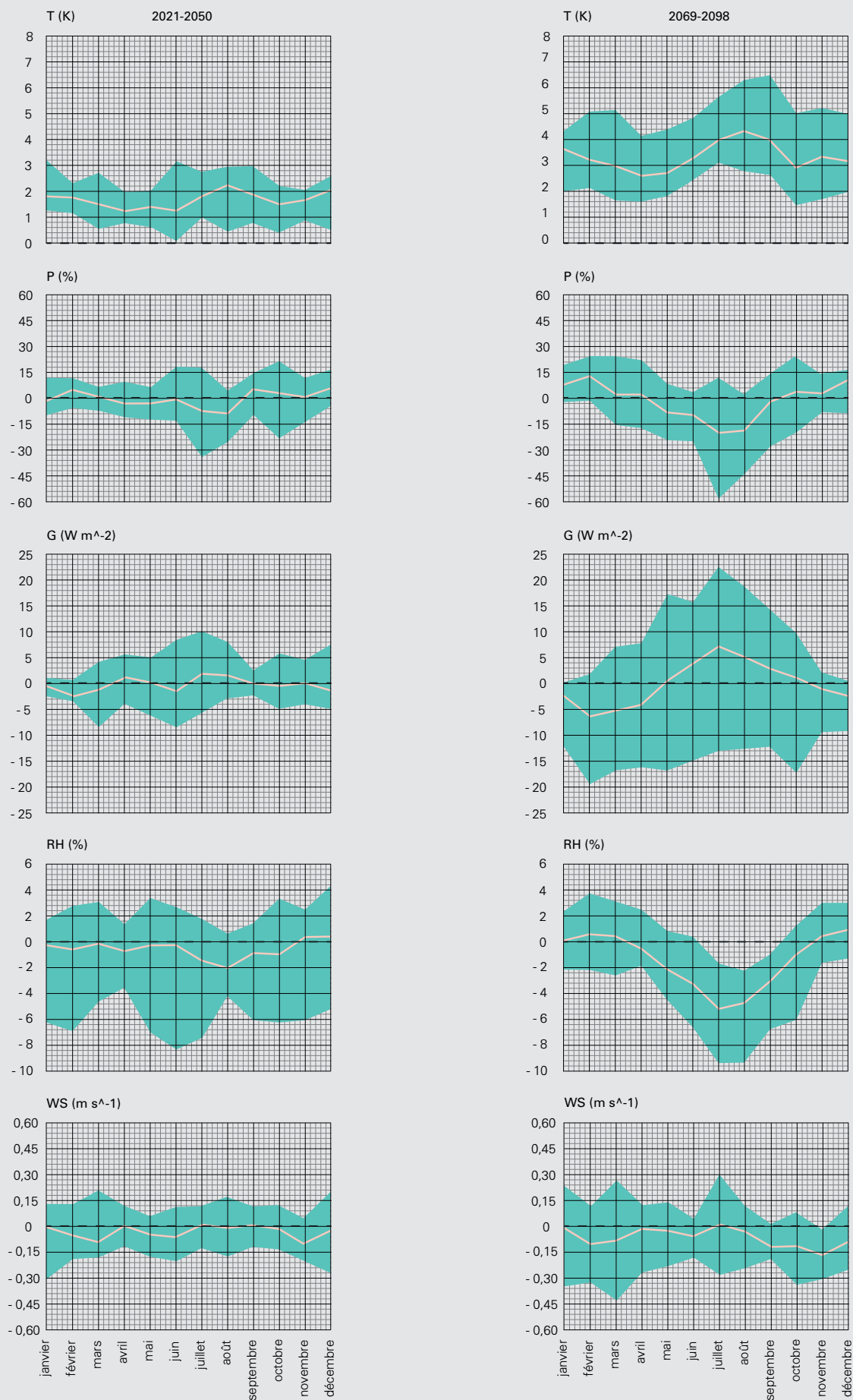
f.2 Evolution des différentes catégories de production depuis 1950

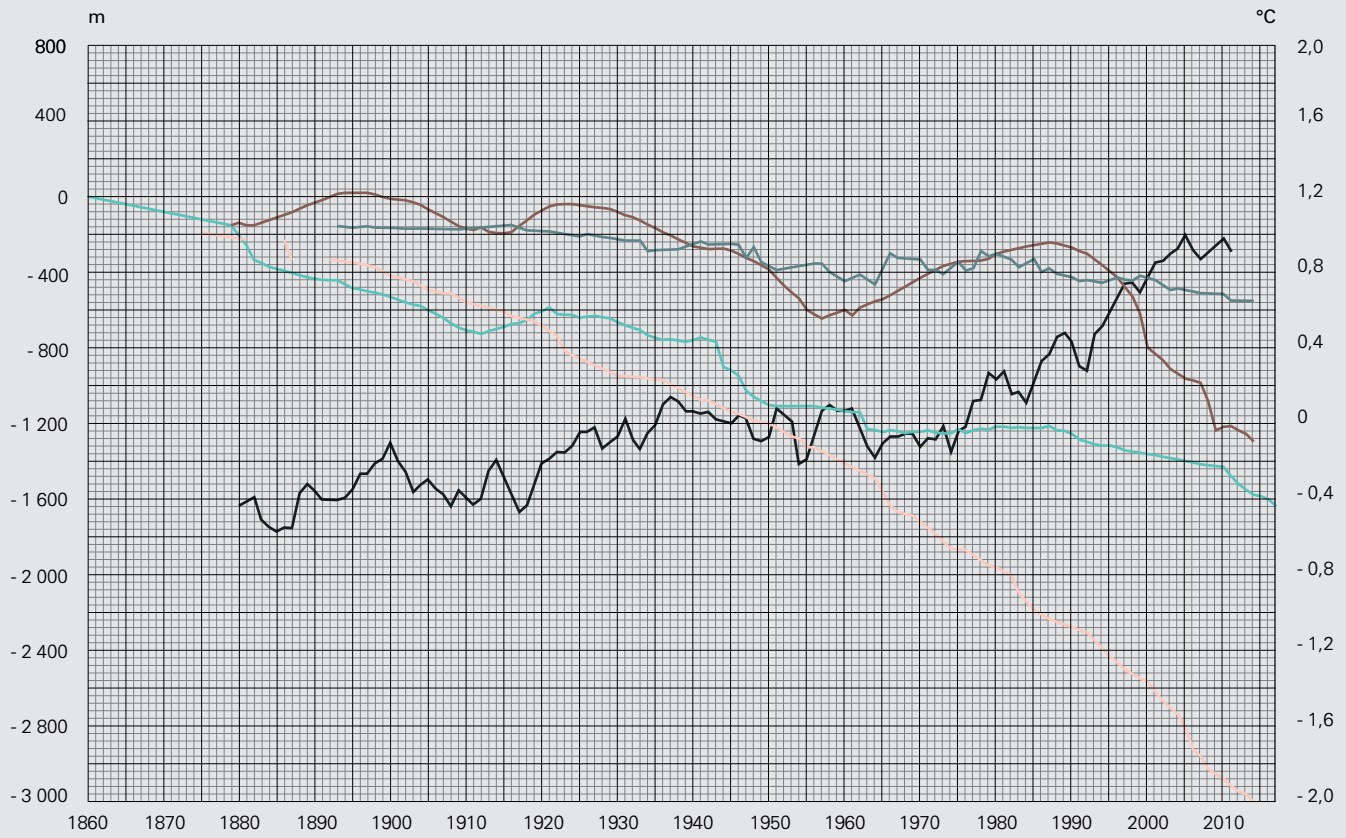
f.3 Diagramme de la puissance/charge produite le 3e mercredi du mois

f.4 Déroulement journalier de la production d'électricité



Prédictions climatiques dans les Alpes





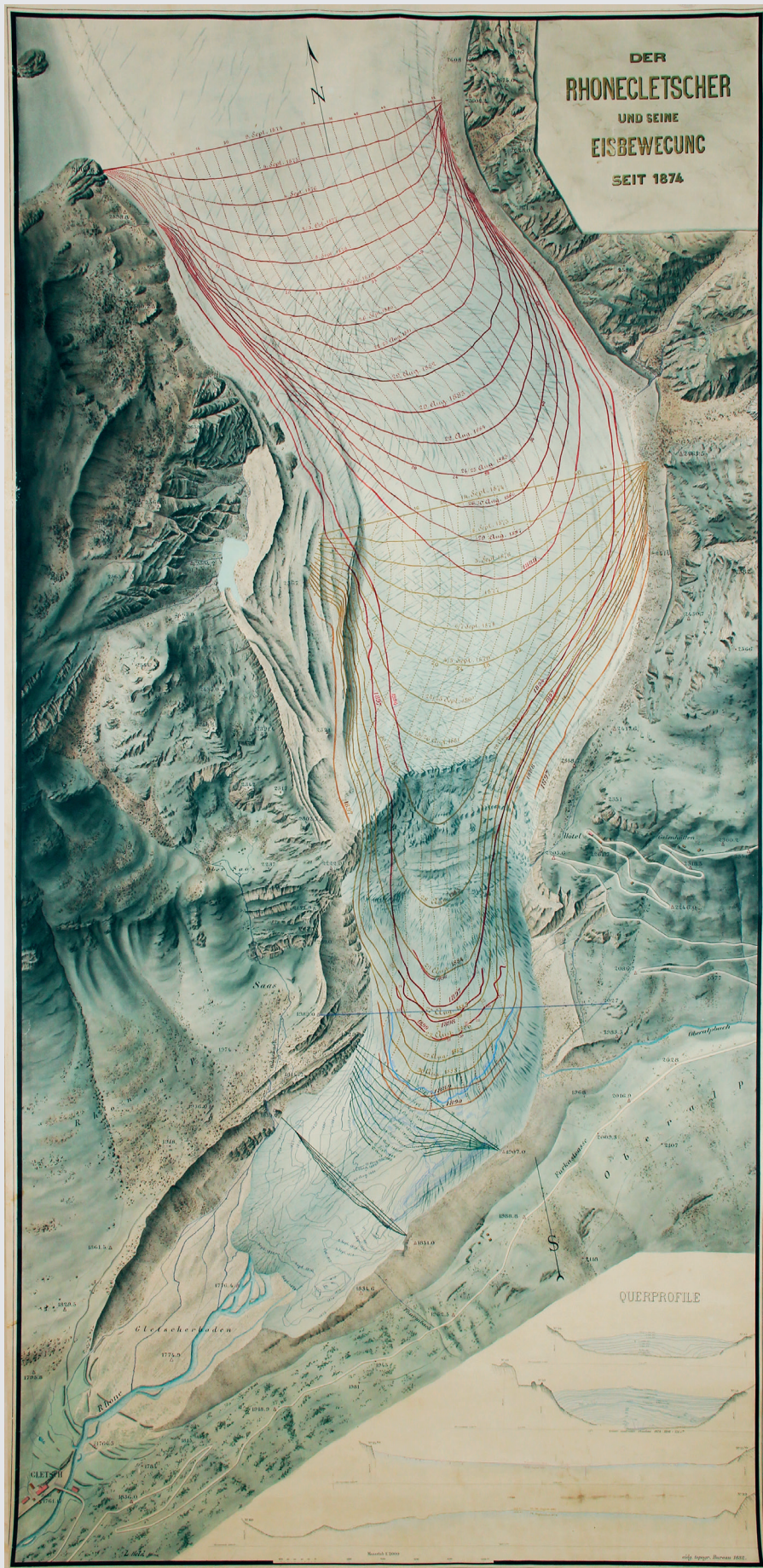
f.5 Cycle annuel de la variation mensuelle moyenne attendue dans la région alpine de la température (T), des précipitations (P), du rayonnement global (G), de l'humidité relative (RH) et de la vitesse du vent (WS) par rapport à la période de référence 1961-1990

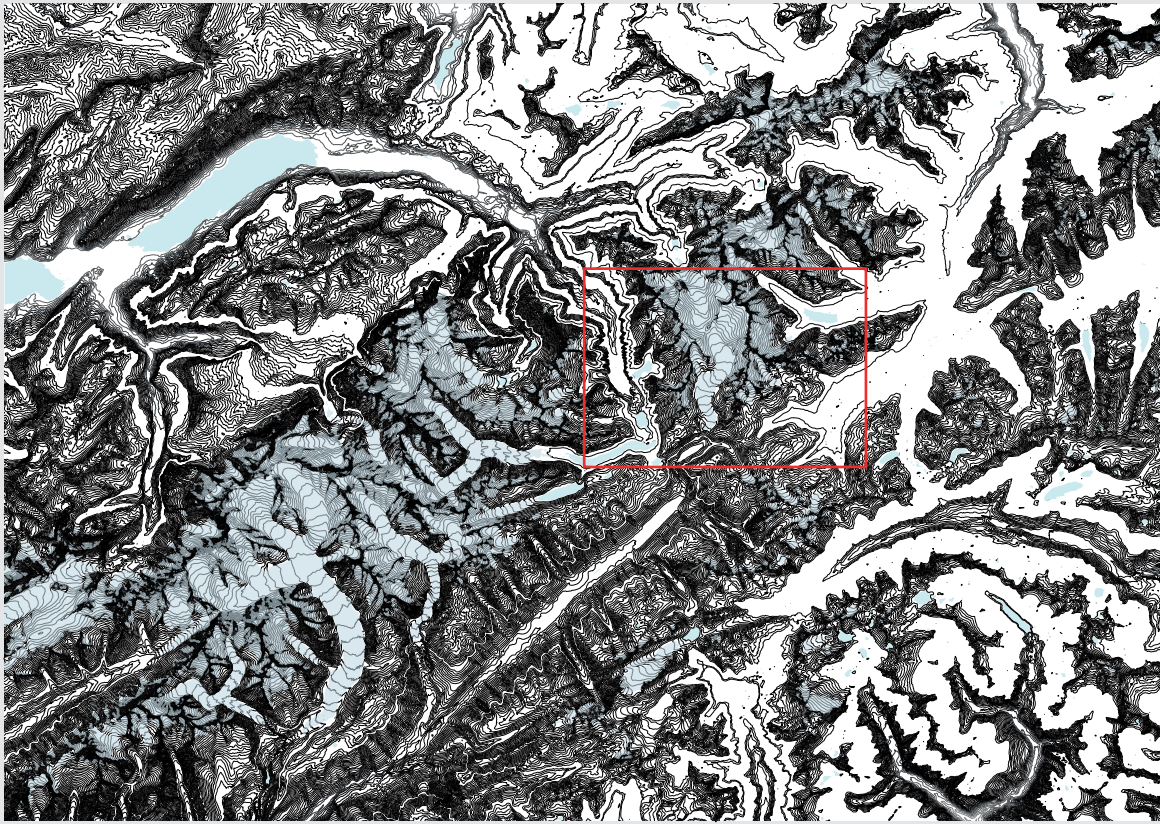
f.6 Variation de la longueur des glaciers (en m) en fonction de l'évolution de la température dans l'Hémisphère nord (en écart par rapport à la moyenne 1951-1980, en °C)

- Glacier d'Aletsch
- Glacier du Rhône
- Glacier du Pizol
- Glacier du Trient
- Température

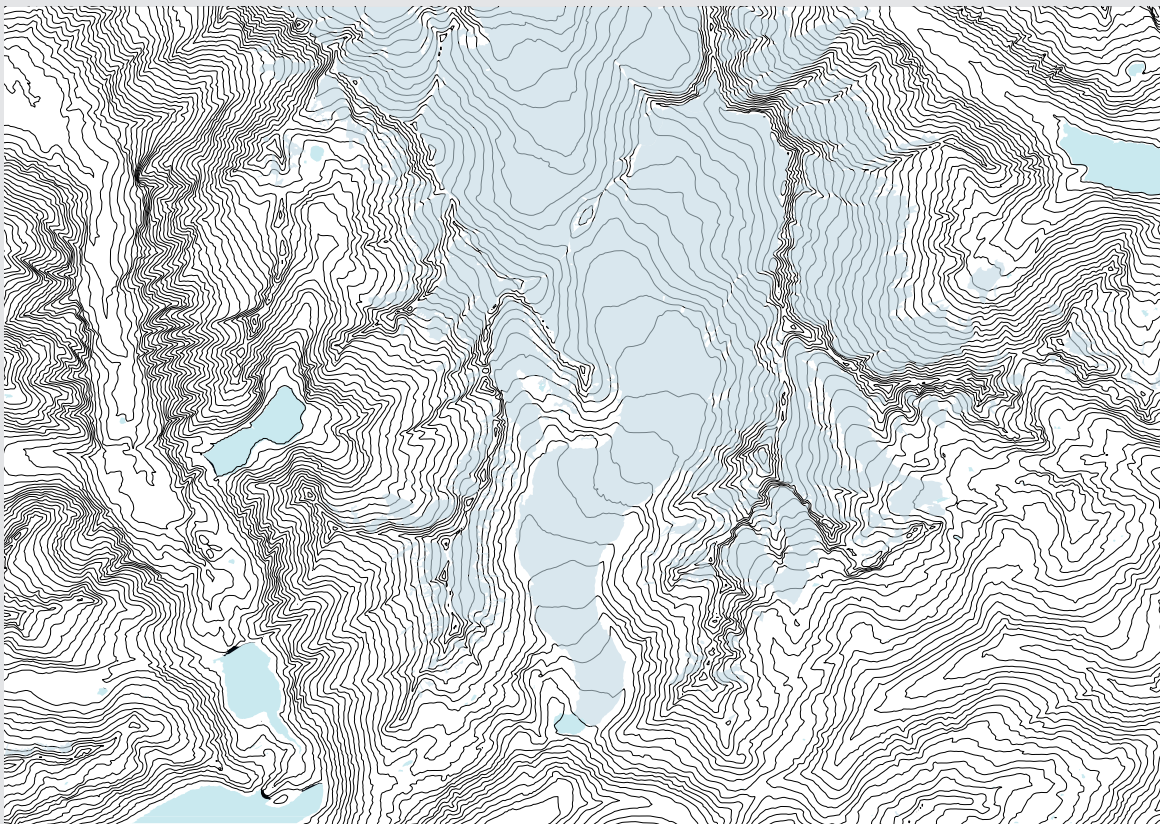
Le glacier du Rhône

f.7





f.8



f.9

f.7 Glacier du Rhone, 1874

f.8 1 / 500 000

f.9 1 / 100 000

Bibliographie

- Aarsman, Hans, van den Heuvel, Maartje, Tracy Metz, Kröller-Müller Museum, Pinakothek der Moderne (Munich, Germany), et International Museum of Photography and Film, éd. *Nature as artifice: new Dutch landscape in photography and video art*. Rotterdam : New York: ALIA/NAi Publishers ; D.A.P./Distributed Art Publishers, [distributeur], 2008.
- Allais, Lucia. « Disaster as Experiment: Superstudio's Radical Preservation ». *Log*, no 22 (2011): 125-29.
- Alonzo, Éric. *L'architecture de la voie : histoire et théories*. Champs-sur-Marne : Marseille : École d'architecture de la ville & des territoires ; Éditions Parenthèses, 2018.
- Angelidakis, Andreas, et Padiglione d'arte contemporanea Pac. *Super Superstudio*. Cinisello Balsamo Milano: Silvana editoriale, 2015.
- Aureli, Pier Vittorio. *Less Is Enough: On Architecture and Asceticism*. First edition. Erscheinungsort nicht ermittelbar: Strelka Press, 2013.
- Bachelard, Gaston. *La terre et les rêveries du repos*. Paris: Librairie José Corti, 1984. p.89
- Barthes, Roland. *La chambre claire: note sur la photographie*. Cahiers du cinéma Gallimard. Paris: Gallimard, 1980.
- Brinckerhoff-Jackson, John, Jean-Marc Besse, Gilles A. Tiberghien, et Xavier Carrère. *A la découverte du paysage vernaculaire*. Arles (Bouches-du-Rhône); Rennes (Ille-et-Vilaine): Actes Sud, 2003.
- Brugellis, Pino, Gianni Pettena, Alberto Salvadori, et Centro di cultura contemporanea Strozzi, éd. *Radical utopias*. Habitat 16. Macerata: Quodlibet, 2017.
- Burckhardt, Lucius. *Why is landscape beautiful? the science of strollogy*. Basel, Switzerland: Birkhauser, 2015.
- CH2018. CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services. Zurich, 2018.
- Cohen, Preston Scott, et Erika Naginski. *The Return of Nature: Sustaining Architecture in the Face of Sustainability*. Routledge, 2014.

- Comité suisse des barrages. « Expansion du béton dans les barrages suisses : Rapport du Comité suisse des barrages CSB sur l'état de la problématique de l'expansion du béton dans les barrages suisses », 8 mai 2017. http://www.swissdams.ch/fr/publications/publications-csb/2017_Expansion_barrages_V01.pdf.
- Criqui, Jean-Pierre, Céline Flécheux, Université de Paris VII, et Centre national d'art et de culture Georges Pompidou (Paris), éd. *Robert Smithson: mémoire et entropie* : [actes du colloque, Centre Pompidou, 26-27 septembre 2013]. Dijon: les Presses du réel, 2018.
- Dempsey, Amy. *Destination Art: Land Art /Site-Specific Art /Sculpture Parks*. London: Thames & Hudson Ltd., 2006.
- Descola, Philippe. *Par-delà nature et culture*. Bibliothèque des sciences humaines. Paris: NRF : Gallimard, 2005.
- Droz, Yvan, éd. *Anthropologie politique du paysage: valeurs et postures paysagères des montagnes suisses*. Paris: Karthala, 2009.
- Everard, Mark. *The hydropolitics of dams: engineering or ecosystems?* London ; New York: Zed Books, 2013.
- Faillettaz, Jerome, et Martin Funk. « Instabilités glaciaires et prédiction ». *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25, no Les dangers naturels en Suisse : pratiques et développement : Compte rendus de la deuxième journée de la rencontre sur les dangers naturels (2013): 159 à 174. <https://doi.org/10.5169/SEALS-389829>.
- Faure, Armelle. « Des normes sociales pour les déplacements de population causés par les grands barrages. France, XXe siècle: L'exemple des barrages de Tignes et Serre-Ponçon dans les Alpes et les barrages de L'Aigle et Bort-les-Orgues dans la Haute-Dordogne ». *Revue de géographie alpine*, no 96-1 (15 mars 2008): 15-28. <https://doi.org/10.4000/rga.385>.
- Ferrari, Marco, Elisa Pasqual, et Andrea Bagnato. *A moving border: Alpine cartographies of climate change*. New York: Columbia Books on Architecture and the City, 2019.
- Filipaj, Patrick. *Architektonisches Potenzial von Dämmbeton*. 3. aktualisierte und erweiterte Auflage. Zürich: vdf Hochschulverlag, 2019.

- Flam, Jack. Robert Smithson – *The Collected Writings*. Reprint. Berkeley: University of California Press, 1996.
- Forty, Adrian. *Concrete and Culture: A Material History*. London: Reaktion Books, 2012.
- Gargiani, Roberto, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Section d'architecture, et Exposition. *Archizoom associati, 1966-1974: de la vague pop à la surface neutre*. Milano; Lausanne: Mondadori Electa ; Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2007.
- Gaudard, Ludovic, et Franco Romerio. « The Future of Hydropower in Europe: Interconnecting Climate, Markets and Policies ». *Environmental Science & Policy* 37 (1 mars 2014): 172-81. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.008>.
- Gaudard, Ludovic, Franco Romerio, Francesco Dalla Valle, Roberta Gorret, Stefano Maran, Giovanni Ravazzani, Markus Stoffel, et Michela Volonterio. « Climate Change Impacts on Hydropower in the Swiss and Italian Alps ». *Science of The Total Environment* 493 (15 septembre 2014): 1211-21. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.012>.
- Gicot, Henri. « Le barrage coupole des Toules: sa conception et son comportement », 1965. <https://doi.org/10.5169/SEALS-68291>.
- Giedion, S. *Architecture, you and me; the diary of a development*. Cambridge: Harvard University Press, 1958.
- Gilg, B. « Das Kraftwerk Mattmark: Projektübersicht », 1961. <https://doi.org/10.5169/SEALS-65588>.
- Gleich, Moritz, et Laurent Stalder, éd. *Architecture/Machine: Programs, Processes, and Performances*. Gta Papers 1. Zürich: gta Verlag, 2017.
- Gobiet, Andreas, Sven Kotlarski, Martin Beniston, Georg Heinrich, Jan Rajczak, et Markus Stoffel. « 21st Century Climate Change in the European Alps—A Review ». *Science of The Total Environment* 493 (15 septembre 2014): 1138-51. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>.
- Hache, Emilie. « Alpi, d'Armin Linke. Getting back to the wrong nature ». *Sciences de la société*, no 87 (1 décembre 2012): 114-27. <https://doi.org/10.4000/sds.1575>.

- Houelle, Thierry. *L'eau et la pensée grecque: du mythe à la philosophie*. Ouverture philosophique. Paris: Harmattan, 2010.
- International Commission on Large Dams. Meeting 2011, et George L Kusic. *Dams and Reservoirs under Changing Challenges*, 2011. <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=1447149>.
- Isotta, F, M Keiler, O Martius, M Messmer, R Mülchi, L Panziera, L Pfister, et al. « 1868 – Les inondations qui changèrent la Suisse », s. d., 52.
- Jakob, Michael. *Le Paysage*, 2013.
- Johnson, Barry L., William B. Richardson, and Teresa J. Naimo. « Past, Present, and Future Concepts in Large River Ecology. » *BioScience* 45, no. 3 (1995): 134-41. Accessed December 15, 2019. doi:10.2307/1312552.
- Kant, Emmanuel. *Critique de la faculté de juger*. Paris: Flammarion, 2015
- Knafou, Rémy. *Les Alpes: une montagne au coeur de l'Europe*. Paris: La Documentation française, 2003.
- « Les racines tentaculaires du barrage d'Emosson - Le Temps ». Consulté le 2 Décembre 2019. <https://www.letemps.ch/suisse/racines-tentaculaires-barrage-demosson>.
- « L'étatisation des barrages serait absurde ». *Le Temps*, 22 avril 2016. Consulté le 2 Décembre 2019. <https://www.letemps.ch/opinions/letatisation-barrages-serait-absurde>.
- Liu, Yu. « The Beautiful and the Sublime: Kant's Paradise Lost and Paradise Regained ». *Studies in Romanticism* 42, no 2 (2003): 187. <https://doi.org/10.2307/25601615>.
- Lombardi, G. « Les tassements exceptionnels au barrage de Zeuzier ». *Société Suisse de mécanique des sols et des roches*. 1988.
- Lugeon, Maurice. « Barrages et géologie », 1933. <https://doi.org/10.5169/SEALS-44870>.
- Mariéthoz, Anne-Sylvie. *Giétro 1818: la véritable histoire*, 2018.
- Mathieu, Jon. *Histoire du paysage en Suisse: de la période glaciaire à nos jours*. Neuchâtel: Livreo-Alphil, 2018.

- Mottier, Jean-Louis. « L'aménagement hydro-électrique franco-suisse d'Emosson », 1970.
- Nitzsche, Friedrich, *Œuvres philosophiques complètes*. Fragment posthume, (Gallimard: Paris, 1976), XIII, 11, p.374
- Novak, Anja, Ingrid Commandeur, Trudy van Riemsdijk-Zandee, et Robert Smithson, éd. *Robert Smithson: Art in Continual Movement ; a Contemporary Reading*. Amsterdam: Alauda Publ, 2012.
- Plateforme Renaturation. « Plateforme Renaturation ». Consulté le 5 Décembre 2019. <https://plattform-renaturierung.ch/fr>.
- Poirel, Alain, Joël Gailhard, et Hervé Capra. « Influence des barrages-réservoirs sur la température de l'eau : exemple d'application au bassin versant de l'Ain ». *La Houille Blanche*, no 4 (septembre 2010): 72-79. <https://doi.org/10.1051/lhb/2010044>.
- Princen, Bas, et Vanessa Norwood. *The Construction of an Image: Bas Princen*. London: Bedford Press, 2016.
- Proceedings of the Symposium on Snow and Glacier Research Relating to Human Living Conditions held at Lom, Norway, 4-9 September 1988. *Annals of glaciology*, vol. 13 (1989). Cambridge, England: International Glaciological Society, 1989.
- Rosellini, Anna. *Robert Smithson et la nature du béton: ruin in reverse, de-architected project, Concrete Pour*. Vol. 12. Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 2015. <https://cris.unibo.it/handle/11585/513175#.XhN4SBdKgWo>.
- Rossi, Aldo, et Françoise Brun. *L'architecture de la ville*. Gollion (Suisse): Infolio, 2016.
- Rouillard, Dominique. *Superarchitecture: le futur de l'architecture, 1950-1970*. Paris: Editions de la Villette, 2004.
- Schleiss, Anton J., et Henri Pougatsch. *Les barrages : du projet à la mise en service*. PPUR Presses polytechniques, 2011.
- Schweizerisches Nationalkomitee für Grosse Talsperren, Swiss National Committee on Large Comité national suisse des grands barrages. *Comportement des grands barrages suisses = Behaviour of large swiss dams*. Berne: Comité National Suisse des Grands Barrages, 1964.

- Schweizerisches Nationalkomitee für Grosse Talsperren, Swiss National Committee on Large Comit e national suisse des grands barrages. *Concrete and Earth Dams in Switzerland Today = Dignes et Barrages Récents En Suisse = Staumauern Und D mme in Der Schweiz Heute*. Zürich: Swiss National Committee on Large Dams, 1967.
- Sennett, Richard. *Ce que sait la main: la culture de l'artisanat*, 2010.
- Settis, Salvatore, et Monica Preti. *Villes en ruine. Images, mémoires, métamorphoses*. Vanves: Hazan, 2015.
- Smithson, Robert. « Frederick Law Olmsted et le paysage dialectique ». In Robert Smithson : le paysage entropique 19060-1973, s. d.
- Stucky, A. « Le barrage de la Dixence », 1946. <https://doi.org/10.5169/SEALS-54615>.
- « Symboles du disparu et mémoire collective - Vallées disparues - nouveaux paysages : histoire(s) des barrages en Suisse ». Consulté le 6 janvier 2020. <http://www.verschwendene-taeler.ch/fr/verschwendene-taeler/Symbole-des-Verschwendenen-und-kollektive-Erinnerung.html>.
- Tiberghien, Gilles A. *Land art*. Nouvelle  d. augmentée. Paris: Dominique Carré, 2012.
- Uehlinger, U., B. Kawecka, et C. T. Robinson. « Effects of Experimental Floods on Periphyton and Stream Metabolism below a High Dam in the Swiss Alps (River Sp l) ». *Aquatic Sciences* 65, no 3 (1 septembre 2003): 199-209. <https://doi.org/10.1007/s00027-003-0664-7>.
- Viollet, Pierre-Louis. *Histoire de l'énergie hydraulique: Moulins, pompes, roues et turbines de l'antiquité au XXe siècle*. Paris: Presses de l' cole nationale des ponts et chaussées, 2005.
- Viollet-le-Duc, Eugène Emmanuel. *Le massif du Mont Blanc:  tude sur sa constitution géodésique et géologique, sur ses transformations et sur l'état ancien et moderne de ses glaciers*, 2015.
- Walter, François, Jean Steinauer, et Lorenzo Planzi. *Paysages sous tension:  lectricit  et politique en Suisse occidentale*, 2016.

Iconographie

Genèse

- f.1 Paul Gauguin, Dans les vagues, ou Ondine p.13
Huile sur toile, 1889. 92.5 x 72.4 cm.
Source : gauguin <https://www.grandpalais.fr/fr/article/le-grand-atelier-de-paul-gauguin-la-fabrique-des-symboles>
- f.2 M. Zeno Diemer, wasserleitungen im Alten Rom - Rö- p.14
mische Aquaedukte an der Via Appia bei Rom, 1914.
215 x 315cm
Source : Alonzo, Éric. *L'architecture de la voie : histoire et théories*. Champs-sur-Marne : Marseille : École d'architecture de la ville & des territoires ; Éditions Parenthèses, 2018.
- f.3 Dessin de Ledoux, Claude-Nicolas, Maison des directeurs p.15
de la Loue, publié en 1804.
Source : Wachmann, Julian ,« Water/Space : Ledoux and the Disposition of Architecture and Machines » p 46 dans Gleich, Moritz, et Laurent Stalder, éd. *Architecture/Machine: Programs, Processes, and Performances*. Gta Papers 1. Zürich : gta Verlag, 2017
- f.4 Kraftwerk Ova Spin Spölschlucht, 1970 p.16
Architecte : Konrad Metzger, Maître d'ouvrage : Kanton Graubünden
Source: https://cms.deplazes.arch.ethz.ch/storage/uploads/03_Publikationen/Reader/web_pub_reader_HS01_Beton.pdf
- f.5 Ambrogio Lorenzetti, Allegoria ed Effetti del Buono e Cattivo p.19
Governo, fresque, Palazzo Pubblico, Sienne (Italie) 1338-1339
200 x 3500 cm
Source : Jakob, Michael. *Le Paysage*, 2013.
- f.6 Claude Gellée, dit le Lorrain p.20
Huile sur toile, 1652. 186 cm x 290 cm
Source: <http://lelorrain.louvre.fr/fr/html/II17.html>
- f.7 Philip James De Louthembourg, An Avalanche in the Alps p.22
Huile sur Toile, 1803. 110 x 1600 cm.
Source : <http://www.tate.org.uk/art/artworks/de-louthembourg-an-avalanche-in-the-alps-t00772>

- p.23 f.8 Viollet-le-Duc, Eugène Emmanuel, modification apportée à un sommet, dans Le massif du Mont Blanc
Source :Viollet-le-Duc, Eugène Emmanuel. *Le massif du Mont Blanc : étude sur sa constitution géodésique et géologique, sur ses transformations et sur l'état ancien et moderne de ses glaciers*, Paris : Librairie Polytechnique, 1876 p. 12
- p.24 f.9 Giovanni Segantini, La nature, La vie, La mort (1897-99), Huile sur toile. 235 x 403 cm.
Source : segantini <https://www.rivagedeboheme.fr/pages/arts/peinture-19e-siecle/giovanni-segantini.html>
- p.28 f.10 Armin Linke, Alpi, 2011. images extraites du film.

Exode

- p.35 f.1 Barrage de la Spitallamm, Grimsel.
Source : Lugeon, Maurice, «Barrages et géologie» dans Bulletin technique de la Suisse romande, Volume 58 (1932)
- p.37 f.2 - f.5 Gerber, Hans : Val des Dix, Barrage de la Grande Dixence, 1955
Source : grde dixence <https://blogs.ethz.ch/crowdsourcing/2018/04/20/staumauerbau-grande-dixence-1955/>
- p.39 f.6 Smithson, Robert «Site-Selection»
Source : Flam, Jack. *Robert Smithson – The Collected Writings*. Reprint. Berkeley : University of California Press, 1996.
- p.41 f.7 Hensler, Karl, 2000
Source : <https://sciencesnaturelles.ch/service/news/80978-vallees-disparues---nouveaux-paysages-histoire-s-des-barages-en-suisse>
- p.45 f.8 Barrage de Mattmark, Valais.
Source : <http://ba.e-pics.ethz.ch>
- p.47 f.9 Barrage de Zeuzier, Valais.
Source : <http://ba.e-pics.ethz.ch>
- p.50 f.10 Barrage de Contra, val Verzasca, Tessin
Source : <http://www.verschwendene-taeler.ch/fr/verschwendene-taeler/Der-Kraftwerkbau.html>
- p.52 f.11 Barrage de Muttssee, Glaris.
Photo des auteurs

f.12 Superstudio, illustration pour «Salvataggi di centri storici italiani», 1972. p.54
Source : https://www.domusweb.it/en/news/2016/04/21/superstudio_50.html

f.13 Cristiano Toraldo di Francia, «Macchina per le vacanze», projet de diplôme, 1967 p.55
Source : <http://socks-studio.com/2013/11/29/holiday-machine-in-tropea-italy-1967-by-cristiano-toraldo-di-francia-su-perstudio/>

f.14 Superstudio, «Monument Continu», 1969 p.56
Source : http://lapisblog.epfl.ch/collection/detail_auteur.php?auteur=UPERSTUDIO

Apocalypse

f.1 Ruines du barrage de Malpasset, 1962 p.75
Source : <https://www.geneanet.org/cartes-postales/view/5022273#0>

f.2 Ruines du barrage de Vajont, 1963 p.76
Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Disastro_Vajont.jpg

f.3-7 Ruines du barrage de Saint-Francis, Californie du sud, 1928. p.79-89
Source : <https://waterandpower.org/museum/St.%20Francis%20Dam%20Disaster.html>

Epilogue

f.1 Photomontage du nouveau barrage de la Spitallamm. p.98
Source : <https://www.grimselstrom.ch/les-forces-motrices-de-loberhasli-kwo-construisent-un-mur-de-remplacement-au-barrage-du-grimsel/>

f.2 Ruines du barrage de Vajont, 2017 p.99
Source : <http://www.dronestagr.am/vajont-dam-dolomites-italy-with-360-interactive-panorama-4/>

Précis Technique

- p.105 Le barrage de Mattmark
Source : Gilg, B. « Das Kraftwerk Mattmark: Projektübersicht », 1961. <https://doi.org/10.5169/SEALS-65588>.
- p.109 Le barrage de le Grande-Dixence
Source : Livio, André, et Louis Favrat. « Grande Dixence: données techniques du projet EOS », 1948. <https://doi.org/10.5169/SEALS-56014>.
- p.111 Le barrage d'Albigna
Source : Zingg, Walter. « Verformungsmessungen in der Felsunterlage der Staumauer Albigna », 1965. <https://doi.org/10.5169/SEALS-68290>.
- p.113 Le barrage de Lucendro
Source : <https://www.atlasofplaces.com>
- p.115 Le barrage des Toules
Source : Gicot, Henri. « Le barrage coupole des Toules: sa conception et son comportement », 1965. <https://doi.org/10.5169/SEALS-68291>.
- p.117 Le barrage de la Spitallamm
Source : Juillard, H. « Die Spitallammsperre der Kraftwerke Oberhasli: ein Beitrag zur Erforschung der statischen und technologischen Probleme des Talsperrenbaues », 1936. <https://doi.org/10.5169/SEALS-48302>.
- p.119 Le barrage d'Emosson
Source : Mottier, Jean-Louis. « L'aménagement hydro-électrique franco-suisse d'Emosson », 1970. <https://doi.org/10.5169/SEALS-70868>.
- p.122-123 Orthophotos
Source : <https://geovite.ethz.ch>
- p.130 Glacier du Rhone, 1874
Source : <https://atlasofplaces.com/location/rhone-glacier/>

Nous remercions notre équipe pédagogique, Roberto Gargiani, Silvia Groaz et Aurelio Muttoni, nos proches, Solène et Pascale, et les personnes avec qui nous partageons nos études.

