

Dans ce numéro : P. MONNET : Chronique d'un temps passé à l'usage d'une génération à venir. — P. FOURCHY : Déboisement et reboisement. Les débuts de la lutte contre l'érosion au XIX^e siècle dans les Alpes françaises. — J. SONNIER : Gestion des forêts communales dans les Basses-Alpes occidentales.

CHRONIQUE D'UN TEMPS PASSÉ A L'USAGE D'UNE GÉNÉRATION A VENIR

PAR

P. MONNET

Conservateur des Eaux et Forêts en retraite

On lira ci-dessous un article écrit par un technicien réputé de la correction des torrents alpins.

Les conceptions de l'auteur n'emporteront peut-être pas l'adhésion de tous nos lecteurs. Qu'elles soient alors l'amorce, le cas échéant, d'un échange de vues qu'accueillerait notre chronique « Les lecteurs parlent ».

Le Comité de Rédaction.

On était en l'an 20.. . Depuis longtemps s'étaient apaisés les remous provoqués par la grande réforme administrative, vieille à présent d'un demi-siècle. En somme, après avoir manqué d'intégrer le Génie Rural lors de sa création au début du siècle précédent, le corps forestier s'était fondu avec lui, cela paraissait maintenant tout à fait naturel. Sur terre beaucoup de problèmes n'avaient pas changé. Il y avait toujours des montagnes, mais bien que les pluies fussent assez souvent provoquées, leur abondance inégale, que l'on ne parvenait pas à contrôler, causait encore des dégâts : inondations dans le bas pays, érosions massives des vallées alpestres. Bref, on faisait toujours de la correction torrentielle.

Parcourant le domaine où il venait de prendre son service, un jeune IGRÉF fut fort étonné en apercevant dans les berges ou les délaissés de certains torrents, faisant corps avec des dépôts alluvionnaires visiblement assez anciens, des débris métalliques, dont la position en formation régulière ne pouvait être l'effet du hasard (1). De retour à son poste, notre IGRÉF, fort intrigué, chercha dans ses archives l'explication de cette présence, mais n'y

(1) De semblables formations pseudo-géologiques pourront être observées dans le torrent de Vachères près d'Embrun, dans le torrent du Rabioux de la Cluse-en-Dévoluy, dans le torrent de Bouriane en forêt de Durbon, dans le torrent de Navette en Valgaudemar, dans le torrent de Lamaron sur la commune de Saint-Véran.

trouva rien. Et c'est pour combler cette lacune qu'en l'an 66 du vingtième siècle on confie à la Revue Forestière le soin de diffuser la chronique que voici.

*
**

A l'origine de toute technique nouvelle, il y a une expérience qui la justifie. Voici donc une expérience simple.

Dans une cunette cimentée alimentée en eau courante en quantité suffisante mais non excessive, introduisons une simple pierre de forme quelconque. Si la pierre n'est pas trop grosse, ni le débit de l'eau trop faible, la pierre se met en mouvement. Mais ce mouvement peut n'être pas continu lorsque le fond ou les parois de la cunette ne sont pas absolument lisses. La pierre alors s'arrête puis repart. Introduisons dans le courant une deuxième pierre semblable. Nous assistons alors à un spectacle réjouissant. Voilà qu'une pierre s'arrête, mais que l'autre la bouscule et la met en branle. Puis elles repartent, l'une suivant l'autre, s'arrêtent ou se poussent mutuellement de façon désordonnée au gré des aspérités rencontrées en route. On a l'impression insolite de voir jouer deux jeunes chats.

Que faut-il penser après cela de cette proposition contenue dans l'ouvrage de COSTA DE BASTELICA : « Les torrents, leurs lois, leurs causes, leurs effets » (1874), page 40 : « Lorsque le triage a lieu, les matières sont entraînées avec des vitesses inégales ; il n'existe entre elles aucune solidarité. Chaque pierre résiste isolément au courant et son arrêt a lieu lorsque sa propre résistance à l'entraînement atteint la limite... » Sans doute peut-on observer après une crue le dépôt de matériaux de granulométrie sensiblement homogène, mais c'est qu'alors on s'est trouvé lors de l'entraînement initial hors du champ de notre expérience : il y a eu excédent d'alimentation en eau par rapport au volume des solides. Nier d'une façon générale la solidarité des matériaux en cours de transport paraît contraire à l'évidence. Il faudrait admettre pour cela qu'aucun d'eux n'a chance d'en rencontrer un autre dans sa course, ce qui paraît absurde.

Or, à partir du moment où l'interaction est constatée entre deux éléments transportés, la possibilité d'une réaction en chaîne ne peut être écartée. Ce que notre expérience a établi pour deux doit être étendu à trois et de là à une infinité. La première pierre arrête la seconde et c'est l'amorce d'une réaction en chaîne d'immobilisation. Quand elle la met en mouvement, c'est celle d'une réaction d'entraînement. Que ces réactions s'exercent pendant un temps plus ou moins long pour un nombre plus ou moins grand d'éléments en sorte qu'on passe successivement de l'une à l'autre est sans importance au point de vue des principes. L'essentiel est de savoir que nous sommes là en présence d'un phénomène naturel, donc susceptible d'être provoqué.

Là ne s'arrête pas l'intérêt de notre expérience. Celle-ci nous rappelle en effet une autre expérience, celle du plan incliné sur lequel on fait rouler des billes pour établir les lois de la chute des corps. Suivant que le plan est plus ou moins incliné, le mouvement est plus ou moins rapide, mais il est toujours uniformément accéléré. La parenté entre le plan incliné et notre cunette ne paraît pas pouvoir être contestée. Que faut-il alors penser de la conception d'une force tractrice dont serait doué l'élément liquide pour entraîner dans sa course un élément solide? Devra-t-on, par analogie, après avoir constaté que, placée à côté de la bille sur le plan incliné, une pierre aux arêtes vives ne bouge pas, dire que la première est douée d'une faculté motrice refusée à la seconde? C'est donc sans aucune impertinence qu'on sollicite pour la force tractrice, si chère aux hydrauliciens, une place de choix dans le musée des canulars!

Sitôt en effet que sous l'action d'une poussée, ou plus exactement d'un excédent de pression — amont aval — appliqué au maître-couple, un élément solide est mis en branle et se détache du fond, alors, mais seulement alors, la pesanteur peut intervenir. Mais elle est seule à le faire. Le liquide, animé d'une vitesse supérieure à celle du solide qui s'ébranle, exerce sur lui, par les filets liquides qui le séparent du fond, une action de portance. Le solide se comporte alors comme un avion dans l'air et il a sa vitesse propre sous l'effet de la pesanteur. Son mouvement étant uniformément accéléré, sa vitesse ne tarde pas à égaler celle de l'eau. L'action de portance cesse et, plus lourd que l'eau, le solide reprend contact avec le fond. Il peut s'y heurter à un autre élément solide et contribuer à le mettre en mouvement, ou bien s'y arrêter pour un temps et être repris dans le même processus d'entraînement par saltation.

Or, quand un élément est mis en mouvement, l'énergie potentielle que représente sa position en altitude se mue en énergie cinétique. Et, inversement, l'énergie cinétique du corps en mouvement fait place, quand il s'arrête, à l'énergie potentielle que représente sa position dans l'espace. Ainsi notre expérience des deux cailloux met-elle en évidence, en même temps que le caractère statistique d'une réaction en chaîne, son caractère énergétique, qui l'apparente singulièrement à la réaction atomique elle-même. Pour l'une comme pour l'autre l'essentiel n'est-il pas de la contrôler? C'est évidemment là que les difficultés commencent.

*
**

Nous ne nous étendrons pas sur la série des expériences qui ont donné lieu, du reste, à toute une série de publications (2), pour

(2) Revue de Géographie Alpine 1955, Bulletin de la Société d'Etudes des Hautes-Alpes 1955, La Technique de l'Eau, nov. 1957 et mars 1960, Revue de Géomorphologie dynamique, mai-déc. 1959, Cahiers des Ingénieurs-Agronomes 1959, Génie Civil 1960, etc.



FIG. 1.
Construction d'un barrage perméable dans le torrent de Bouriane
(forêt de Durbon). 1955.

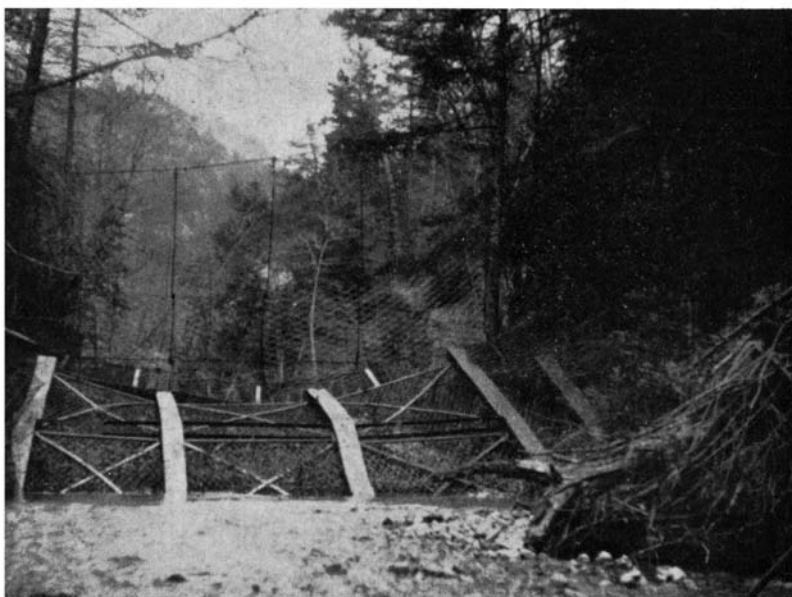


FIG. 2.
Barrage du Bouriane en 1958.
Pose d'un rideau vertical à l'amont du barrage.

en venir tout de suite aux conditions nécessaires pour que ce contrôle d'une réaction continue de dépôt et d'atterrissement soit effectif.

Puisque seuls les éléments solides sont l'objet de la réaction d'atterrissement, seuls ces éléments doivent être arrêtés, l'eau doit pouvoir s'écouler librement. Le barrage sera donc formé d'un grillage permettant la rétention des plus gros éléments charriés. Comme derrière les premiers s'arrête inévitablement la gamme complète



FIG. 3.

Barrage du Bouriane.

Le rideau vertical vu de l'aval en 1960.

des éléments migrants, la maille choisie sera la plus large possible, de façon que derrière l'ouvrage s'établisse un rideau continu formé des éléments les plus volumineux.

Faut-il donner un fruit vers l'aval à l'ouvrage? On pourrait être tenté de croire — et à cette tentation l'on a succombé — puisque un tas de cailloux déversé se dispose naturellement suivant une pente d'équilibre, qu'une telle pente peut être définie. Il n'en est rien, car s'il peut y avoir pour un débit donné du flot une pente de dépôt le long de laquelle les eaux couleraient sans entraîner les matériaux déposés, cette pente, relative au seul débit pour lequel elle a été fixée, se trouverait modifiée dans le sens d'une atténuation pour un débit supérieur, et cela jusqu'à atteindre en définitive la pente du lit naturel. Ainsi, faute de pouvoir définir une pente d'équilibre, donnera-t-on au barrage un parement vertical.

Cette disposition est incontestablement la meilleure, car c'est seulement avec elle que les conditions d'appui des matériaux les uns sur les autres derrière le barrage ne seront pas modifiées sous l'effet des courants percolateurs s'écoulant le long de la paroi de l'ouvrage. L'action de ces courants s'exerçant ici verticalement comme celle des forces de pesanteur, il n'y a pas composition de forces

d'une obliquité variable suivant l'importance du volume d'eau migrant. La verticalité du barrage est donc cause de stabilité en même temps que facteur de durée, puisque la paroi de rétention ne subira pas l'action érosive des eaux dans leur chute lorsque l'ouvrage sera atterri.

La gerbe déversante se détachant ainsi du barrage et d'autant plus que le débit sera plus grand, il est indispensable d'en protéger le pied. Or, il est possible de faire construire le contre-barrage par le même moyen que le barrage lui-même, en disposant à la base de celui-ci et sur une largeur suffisante vers l'aval un moule grillagé formant portefeuille en position horizontale. Ce moule se remplira dès que commencera l'atterrissement du barrage et l'on peut, pour donner au contre-barrage une certaine souplesse dans la réception de la chute, introduire, lors de la construction, dans le portefeuille des pneumatiques usagés (disposition bien visible sur la photo n° 4).

A ce point de notre exposé, relevons tout de suite une objection. Comment donc un tel ouvrage, comportant sans doute une armature mais constitué d'une simple paroi grillagée, pourra-t-il résister à la poussée des terres qui ne manquera pas de se manifester après édification? Sans doute l'objection serait de taille... s'il y avait une poussée des terres, ce que l'on examinera plus loin.

Examinons d'abord l'armature. Elle peut être inexistante si le barrage est suspendu. Celui-ci est alors un simple rideau tendu en travers du torrent et même n'atteignant pas le lit, s'il est placé à l'amont d'un barrage en cours d'atterrissement : lorsque cet atterrissement atteint la base du rideau, les dépôts retenus fixent le rideau au fond du lit nouveau et l'atterrissement se poursuit derrière la paroi du rideau. C'est le cas dans le torrent de Bouriane en forêt de Durbon, où un ouvrage de rétention établi en 1955 (photo n° 1) a été complété en 1958 par un rideau suspendu à l'amont (photo n° 2), dont l'atterrissement, fortement amorcé en 1960 (photo n° 3) se poursuit encore aujourd'hui.

L'armature peut être tétraédrique, le tétraèdre étant un solide tel que la résultante des pressions exercées sur ses faces est dirigée dans le sens de la pesanteur. C'est du reste par imitation de son emploi à Génissiat pour les travaux de coupure du Rhône que le tétraèdre a été utilisé en correction torrentielle. Mais tandis qu'à Génissiat les tétraèdres, constitués seulement de leurs arêtes, étaient déversés au bout de câbles longitudinaux en même temps que les pierres destinées à combler le lit du fleuve, ils furent utilisés pour la première fois dans le torrent de Vachères, mais reliés entre eux par un câble transversal solidement ancré dans les berges. L'expérience a montré du reste que le tétraèdre ne pouvait être employé seul, mais qu'il devait être solidement associé à une sole stabilisatrice de base étendue vers l'amont. En effet, retenus par un câble transversal passant par leur centre de gravité, les tétraèdres, en-

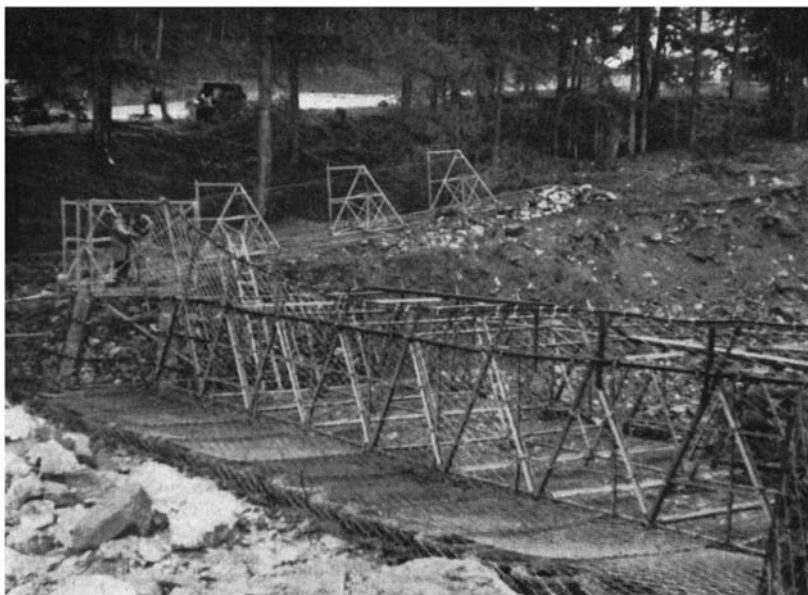


FIG. 4.

Ouvrage à double paroi de rétention sur armature tubulaire. Tubes longitudinaux de 6 m, tubes transversaux d'accouplement de 2 m, parafouille en portefeuille de 2 m de large au premier plan. Torrent du Lamaron à Saint-Véran. 1958.



FIG. 5.

Ouvrage de Saint-Véran en 1959.

trainés pas le fond mobile sous l'action du courant, tournent sur eux-mêmes, la base se portant vers l'aval, le sommet vers l'amont. Amarrés par leurs sommets, ils se mettent en drapeau vers l'aval. La sole étendue vers l'amont et sur laquelle s'amorce l'atterrissement s'oppose au mouvement de rotation.



Fig. 6.

Ouvrage de Saint-Véran en 1960.

A l'armature tétraédrique simple, on doit préférer l'armature hexagonale double permettant la constitution d'un ouvrage à double paroi. Une série de tubes de longueur uniforme est placée longitudinalement dans le lit du torrent. A chacune de leurs extrémités les tubes sont munis d'une étoile à six branches formées d'amorces de tubes transversaux situés dans un plan perpendiculaire à l'axe du tube (photos n^{os} 4 et 5). Sur les amorces de tubes viennent s'emboîter des segments tubulaires de longueur uniforme grâce auxquels les tubes longitudinaux sont reliés entre eux par leurs extrémités, chacun d'eux l'étant horizontalement à ses voisins de même étage, obliquement sous un angle de 60 degrés vers le haut et vers le bas à ses homologues de l'étage supérieur et de l'étage inférieur. On obtient ainsi une carcasse d'un montage aisé, permettant la pose

d'un grillage à l'amont et d'un grillage à l'aval, réalisant ainsi une double paroi de rétention.

L'immobilisation de l'armature nécessite un ancrage. Si les premiers barrages de correction torrentielle étaient des barrages-poids prenant appui sur le fond du lit et dont on calculait soigneusement



FIG. 7.

Dispositif de rétention dans le torrent de Vachères. Juin 1953.

l'équilibre sous l'action de la poussée des eaux, si plus tard on construisit des barrages sur poutre encastrée dans les berges, nous sommes avec les barrages perméables en présence d'ouvrages qui ne devront leur stabilité qu'à des apports torrentiels à venir. La période d'édification est donc critique, car au début surtout les matériaux en transit doivent être retenus par un ouvrage de masse



FIG. 8.
Le dispositif de Vachères à la suite d'une crue. Juin 1955.



FIG. 9.
Le dispositif de Vachères, état en 1964.

insignifiante. C'est donc hors de l'élément liquide par des câbles ancrés à l'abri de toute action des eaux que doivent être immobilisés les ouvrages.

Restent à définir les conditions à remplir par le fond du lit et les berges, mais pour le faire il convient de se référer à la première expérience de rétention réalisée en juin 1953 dans le torrent de Vachères. La photo n° 7 montre comment se présentait l'ouvrage au moment où il fut atterri. Le système de rétention simplifié — trop simplifié — sorte de nasse en toile à gabion montée sur fer rond de 8 m/m (bien visible au premier plan) était remplacé dans la partie centrale de l'ouvrage par le système tétraédrique monté sur sole, décrit ci-dessus, et qui avait été atterri antérieurement lors d'une première expérience. On voit sur la photo au second plan l'amorce d'une sorte de volière derrière laquelle on pensait que pourraient se déposer les matériaux charriés, lesquels prendraient ainsi la forme d'un barrage incliné le long duquel se ferait l'écoulement. Cette volière fut en effet étendue à toute la largeur de l'ouvrage. Mais à la suite d'une crue en juin 1955, on put prendre la photo n° 8 sur laquelle on voit au centre, au premier plan, la portion de l'ouvrage constituée d'éléments tétraédriques, surmontée de la toile à gabion de la volière. A l'extrême droite sur la photo, là où l'ouvrage était constitué par une simple nasse, la toile à gabion, qui coiffait la nasse et s'est chargée de matériaux, a été déportée vers l'aval sous l'action de ces derniers : elle occupe la photo jusqu'à sa marge et se prolonge sans discontinuité jusqu'à la berge. A gauche et vers le centre du lit une brèche s'est ouverte par où s'écoule désormais tout le flot, tandis qu'à son extrémité rive droite, visible sur la photo à l'extrême gauche, le barrage-nasse, affranchi de tout écoulement est resté en place. Or la photo n° 9 a été prise au cours de l'été 1964, c'est-à-dire neuf ans après. Elle montre au premier plan la même portion tétraédrique de l'ouvrage. Et l'on y voit que malgré la discontinuité du dépôt derrière la toile métallique encore discernable aucune « poussée des terres » ne semble se manifester. Est-il concevable en effet, s'il en était autrement, que les matériaux aient pu rester empilés sensiblement à la verticale et sans prendre la pente de talus correspondant à leur granulométrie ? Et que le lit de cailloux roulés surmontant le fer cornière posé sur le dispositif tétraédrique se couvre de végétation, sans qu'apparemment les racines provoquent le moindre effondrement ? Or, soucieux sans doute de confirmer cette manière de voir, le même torrent de Vachères nous offre à la même époque de juin 1955 l'image d'un barrage en maçonnerie (photo n° 10) dont toute la partie médiane est restée en place alors que le haut et le bas de l'ouvrage ont été emportés. Cette destruction partielle ne paraît vraiment pas compatible avec l'existence d'une « poussée des terres », alors que la pression hydraulique l'explique parfaitement.

On sait depuis l'expérience du tonneau de Pascal que celle-ci est d'autant plus forte que la hauteur d'eau est plus grande, c'est donc la base des ouvrages qui en est le plus menacée. Et l'on n'a pas de peine à croire qu'elle est capable de s'exercer à travers une épaisse couche de matériaux déposés en s'y insinuant peu à peu par des courants de percolation.



FIG. 10.

Torrent de Vachères.

Effet d'une crue sur un barrage en maçonnerie. Juin 1955.

A la lumière de cette double expérience, on peut donc affirmer que sans eau de circulation à l'intérieur du barrage il n'y aura pas de pression hydraulique et que l'ouvrage ne court aucun risque du fait des matériaux retenus, lesquels sont stables naturellement. L'objectif à atteindre est donc l'élimination de l'eau.

Le fait que l'ouvrage est fait d'une paroi discontinue élimine bien les eaux de la crue qui procède à la mise en place des premiers matériaux retenus, ainsi du reste que les eaux des crues successives réalisant l'atterrissement. Mais il n'a aucun effet sur les eaux claires passant sur le barrage en régime normal et qui ne manquent pas de s'infiltrer au sein des éléments déposés. C'est ainsi qu'il a pu arriver (torrent de Navette) qu'un barrage perméable déjà parfai-

tement atterri soit localement détruit lors d'une crue majeure par enlèvement d'un élément tétraédrique sous l'effet d'une pression à la base, le courant s'établissant alors par dessous l'ouvrage. Le système de barrage à double paroi monté sur armature tubulaire (photos n^{os} 4, 5 et 6) permet, si les tubes sont percés d'orifices à leur partie supérieure — et mieux encore d'ailettes latérales assurant en outre la collecte des eaux de percolation — d'effectuer un certain drainage des matériaux retenus. Mais la précaution la plus efficace sera de rendre le fond du lit imperméable.

Ce fond devra d'abord être horizontal, car s'il présente des creux et des bosses, les eaux, s'infiltrant sous les bosses, s'établiront sous l'ouvrage. Le passage d'un bulldozer pour niveler le fond est donc indispensable, si l'on n'opère pas sur fond entièrement rocheux.

Pour le rendre imperméable, le fond sera revêtu d'une couverture continue comme de la tôle d'acier mince ou des plaques de fibro-ciment ou de toute autre matière. (On avait pensé à l'origine qu'un revêtement de toile à gabion pourrait suffire à empêcher l'action des eaux en profondeur. L'expérience de Navette que l'on vient de relater a montré qu'il n'en était rien.)

Quant aux berges affouillables, elles devront être protégées de la même manière par une couverture continue, et cela jusqu'au niveau que pourront atteindre les eaux après atterrissement complet du barrage.

On peut encore aller plus loin dans la protection des berges et les faire revêtir à l'aval de l'ouvrage d'un gabion autoconstruit. Le moule creux à paroi perméable de cet appendice en doigt de gant ouvert à l'amont au niveau du barrage recevra ses matériaux des eaux transporteuses qui le traverseront tant que l'ouvrage à l'amont ne sera pas atterri...

*

**

Ayant parcouru la présente chronique, notre IGREF de l'an 20. fut fort dépité de n'y rien découvrir touchant le coût des ouvrages fossiles, ni surtout de l'application qui aurait pu en être faite aux torrents charriant des laves.

C'est en premier lieu que, s'agissant d'ouvrages expérimentaux, il est assez difficile d'indiquer un prix qui soit applicable à des ouvrages projetés. On peut dire cependant que le dernier en date des ouvrages, réalisé à Saint-Véran en 1958, lequel comporte deux parois amont et aval distantes de 6 m l'une de l'autre, montées sur armature tubulaire et dont la largeur est de 20 m avec une hauteur un peu supérieure à 2 m, a coûté moins de 3 millions de francs de l'époque.

Quant au silence au sujet des laves, il s'explique par le fait qu'aucune expérience vraiment intéressante ne put être réalisée par le chroniqueur...

Cependant, réfléchissant à la question, notre IGREF en vint à penser une transposition possible. La lave étant en effet un fluide à forte densité, donc susceptible de provoquer des pressions hydrauliques considérables sous une grande profondeur, on choisirait pour l'arrêter un élargissement plutôt qu'un rétrécissement du lit. Le prix réduit de l'ouvrage permet ce choix. Comme elle transporte à sa surface de très gros éléments, on ne chercherait à retenir que ceux-ci. La maille serait donc très lâche en même temps que très solide (filet à sous-marin par exemple). Le fond serait rendu étanche par revêtement de plaques étanches dont le rebord amont s'enfoncerait à angle droit et sur une certaine profondeur dans les matériaux constituant le lit, si celui-ci était affouillable. La hauteur du barrage serait faible. Une série d'ouvrages disposés en escalier, édifiés successivement, permettrait, si besoin est, d'augmenter la capacité de rétention...

A ce point de ses réflexions, notre IGREF se demandait s'il convenait de tenter d'en faire l'application. Il se souvint alors fort opportunément avoir lu cette observation assez remarquable dans l'ouvrage déjà cité de l'ancêtre que fut à l'âge héroïque COSTA DE BASTELICA (page 107) : « Une remarque qui me paraît intéressante
« et dont j'ai été souvent témoin en assistant au spectacle des
« grandes crues des torrents les plus furieux des Alpes. Alors que
« les ouvrages de défense en apparence les plus solides étaient dé-
« truits en quelques instants, on voyait avec étonnement un simple
« chevalet composé de trois pièces de bois résister victorieusement
« à tous les assauts. Ce faible obstacle brisé la force ; l'eau passe
« à travers ; un ralentissement se produit en déterminant un dépôt,
« qui consolide le faible obstacle au lieu de l'ébranler. »

Observation combien pertinente et qui pourrait être placée en exergue de la présente chronique. Mais puisqu'on ne saurait plus aisément dompter la nature qu'en l'imitant, on peut regretter que celui qui l'a faite n'ait pas commencé par là.
