Barrage de Brissa

Rapport expertise Juillet 2019

YZIQUEL Alain

wat/19/4

Barrage de Brissa

Rapport d'expertise

1. Introduction

Le barrage de Brissa présente des fuites importantes, qui a priori ne le mettent pas en danger mais empêchent l'ouvrage de tenir son objectif à savoir la fourniture d'eau d'irrigation aux avaliers.

Le CDR a confié à Alain YZIQUEL, expert indépendant, l'expertise suivante :

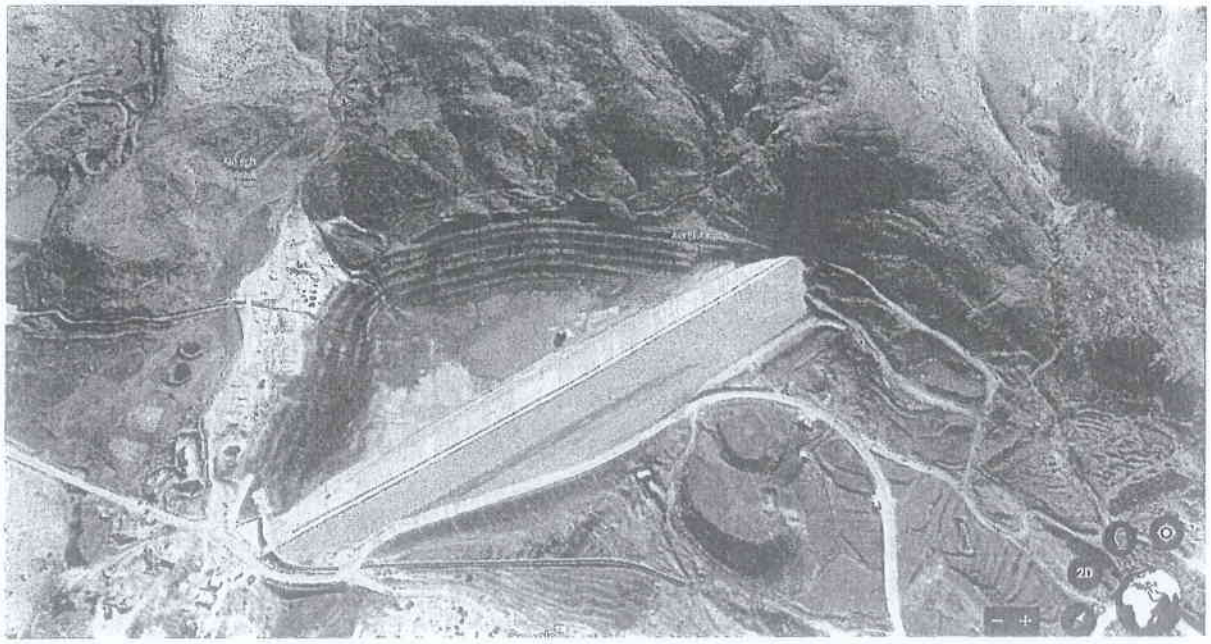
- Faire un état des lieux
- Donner un aperçu des raisons pour lesquels le projet n'a pas été terminé comme prévu
- Esquisser la solution au problème.

2. Documentation mise à disposition

La documentation est décrite en Annexe 1. Elle est classée de la plus récente à la plus ancienne. En effet la documentation récente a plus de poids que la documentation ancienne.

3. Vue aérienne de l'aménagement

La vue ci-dessous est la plus récente que nous ayons pu trouver



Elle montre les éléments suivants :

- La très grande hétérogénéité du site visible grâce aux différentes couleurs des roches présentes sur le site
- La dégradation rapide des talus du réservoir
- L'absence de structure de contrôle des eaux entrants dans le réservoir.
- Finalement l'absence d'eau sauf dans une petite partie ou une membrane a été posée.

Nous reviendrons sur chacun de ces points dans le cours du rapport.

4. Historique du projet, de la construction et du remplissage

Première phase : Le projet

- La localisation du projet ainsi que le projet original ont été faits par le consultant « World Engineering &Technology- Bureau Ing. Corban » pour le compte du ministère des ressources hydrauliques et électriques durant les années 1997-1998. La capacité de stockage était de 850,000m3
- En 1998, Le conseil des ministres a décidé d'exécuter le projet à travers le CDR.
- En 2001, le CDR a demandé à Dar Al Handasah Nazih Taleb de mettre à jour, de compléter, de vérifier et de modifier les tender documents (sans apporter des modifications sur les études déjà réalisées au ministère), y compris :
    - Vérification de la stabilité de barrage spécialement en cas de séisme
    - Etudes des tuyaux de transmission de l'eau à partir du barrage
    - Préparation d'un dossier expropriation

- Modifier les tender documents pour être selon les types adoptes par la Banque Saoudien qui va financer le projet

La mise à jour des études du projet a conclu à la possibilité d'augmenter la capacité de stockage a 1,250,000m3 en élargissant le réservoir.
Cette mise à jour a été terminé en 2002. Sur les plans de tender il n'y a pas le nom de l'entreprise, mais le nom du consultant original (World Engineering & Technology)

L'étude originale ainsi que la mise à jour du projet, n'ont pas inclus des investigations géotechniques profondes mais seulement des puits de profondeur limités. C'est pour cette raison que les tender documents ont demandé à l'entreprise de faire des investigations géologiques et géotechniques profondes pour le barrage et pour les carrières. L'entreprise a été aussi demandé de modifier le design en fonction des résultats de ces reconnaissances.

Deuxième phase : la construction

En 2003, l'exécution du projet a commencé avec l'Entrepreneur « Elka Group- Batco J.V » et son conseil « GammaPi s.r.l » sous la supervision de Dar Al Handasah Nazih Taleb.

En 2004, une fois les reconnaissances réalisées et suite aux excavations de la fondation du barrage, l'Entreprise a proposé de modifier la section type du barrage et l'axe du barrage. Les raisons principales, données par l'Entrepreneur, pour les modifications de la section type étaient :

- La qualité de l'argile convenable pour un noyau
- La difficulté de trouver des carrières proches pour le rockfill et la fermeture des carrières et par suite le coût additionnel pour les remblais rocheux.

Ces modifications ont été adoptées spécialement pour les raisons suivantes:

- La nouvelle solution respecte les critères des plans de tender, une étanchéité verticale pour le barrage (noyau en argile au lieu d'une membrane sur la face amont du barrage) et une extension horizontale de l'étanchéité dans les zones ou le calcaire affleure dans le réservoir (mais avec un tapis argile au lieu d'une membrane).
- Le basalte qui couvre toute de la zone restante du réservoir est étanche (principe aussi adopté dans les études originales).
- L'importation de l'extérieur va imposer des couts supplémentaires.
- L'entreprise a annoncé qu'elle est responsable de ces modifications.
- L'expert international du barrage a donné un avis que ces modifications peuvent être adoptées.

Nous reviendrons plus loin dans le corps du rapport au bien-fondé de cette modification et de ses conséquences sur le projet.

En 2006, et suite à l'avancement des travaux d'excavation du réservoir ainsi que les travaux d'injection et les travaux du barrage, des nouveaux facteurs géologiques et géotechniques ont été constatés et ont été mentionnées dans le rapport de Mr Mekboul [1]comme suit:
Il a été démontré que la couche basaltique résiduelle au fond du bassin sur laquelle on comptait pour garantir l'étanchéité du réservoir est le plus souvent perméable, d'épaisseur inégale et parfois nulle. Cette couche repose sur une formation calcaire perméable qui a été mise à nu dans la partie centrale du réservoir.

Dans ces conditions on ne peut compter sur l'étanchéité naturelle de la fondation pour assurer le stockage des eaux. Un revêtement d'étanchéité généralisé de ce fond de bassin parait incontournable pour garantir la réussite de ce projet

La construction s'est terminée en 2009.

Compte tenu de l'altitude (environ 2000m) les travaux n'ont pu être réalisés que pendant 5 mois.

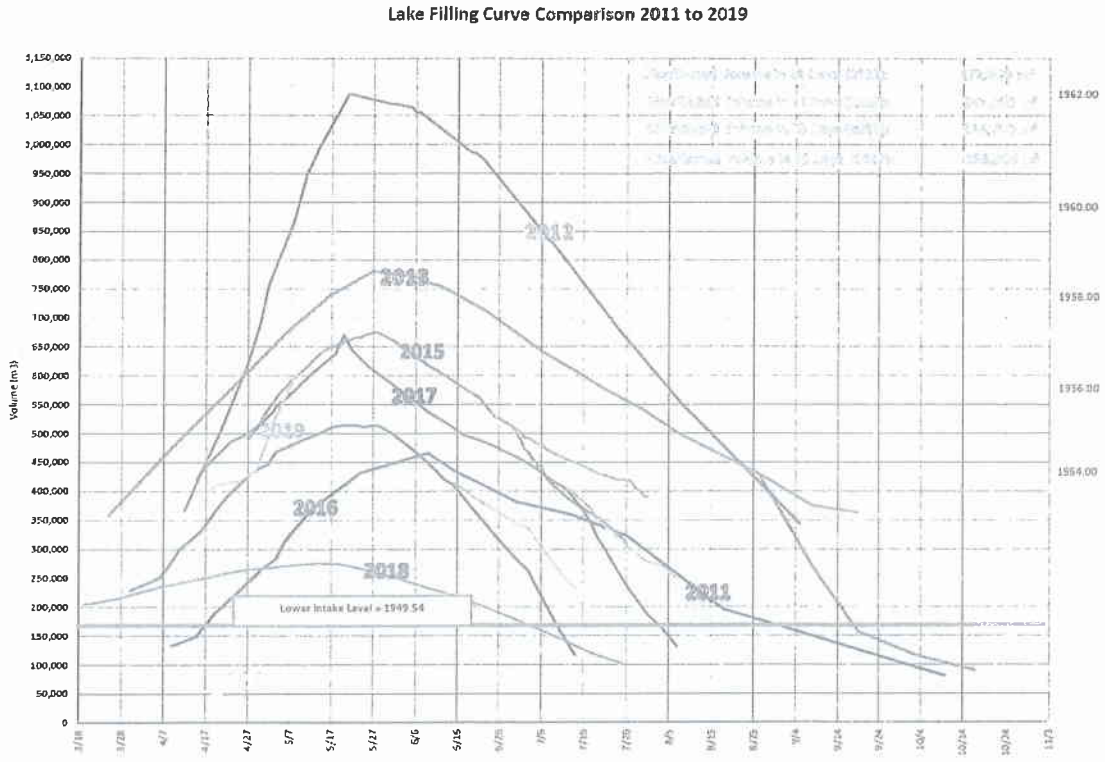
Troisième phase : l'exploitation

Les informations concernant la période 2009 -2012 sont extraites du Site Visit Report July 2012.
Le premier remplissage a eu lieu en 2009. Les fuites ont été telles que le niveau maximum n'a été que de quelques mètres au-dessus du fond du réservoir
L'installation de 20000 m2 de membrane n'ont eu que peu d'effet sur le débit de fuite.

En 2011 les apports ont été minimes.

Les informations suivantes couvrant la période 2011 -2019 nous ont été aimablement communiquées par Dar Al Handasah Nazih Taleb.

[1]Etanchéité du réservoir ; suivi géologique d'exécution ; synthèse des données des sondages BMC1 à BMC5; Mars 2006



5. L'étanchéité de l'aménagement

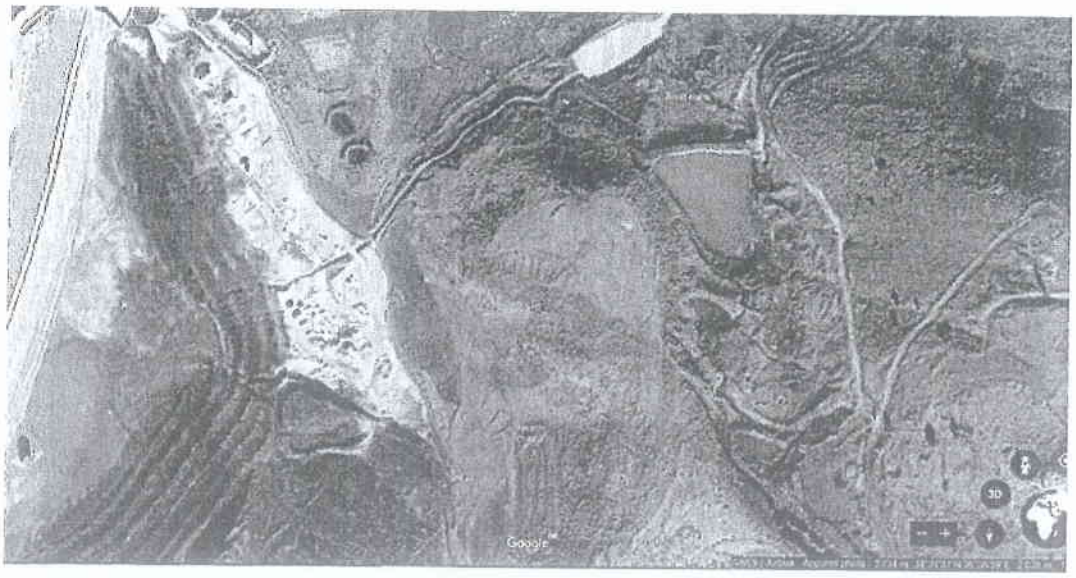
Observation du site

On peut voir sur la photo suivante la présence de petits lacs privés preuve que le basalte altéré peut être une étanchéité naturelle. Nous n'avons pas de topographie précise mais d'après le rapport[2] sur l'étanchéité du réservoir l'épaisseur de basalte au niveau des petits lacs serait alors de plus de 20m.

En outre l'expert international a vérifié que le matériau n'est pas dispersif. Ce résultat est attendu car nous ne sommes pas en présence d'argiles marines mais d'argile provenant de l'altération du basalte. Le mécanisme menant à la dispersivité (présence d'atomes sodium Na) n'est pas présent.

Le problème principal est bien entendu le **gradient hydraulique** qui peut créer des érosions par vitesse excessive sur les particules argileuses. Cela est valable tant pour les talus (vitesse d'entrainement) ou si le gradient est trop élevé (instabilité des particules)

[2] Etanchéité du réservoir ; suivi géologique d'exécution ; synthèse des données des sondages BMC1 à BMC5; Mars 2006



Projet initial

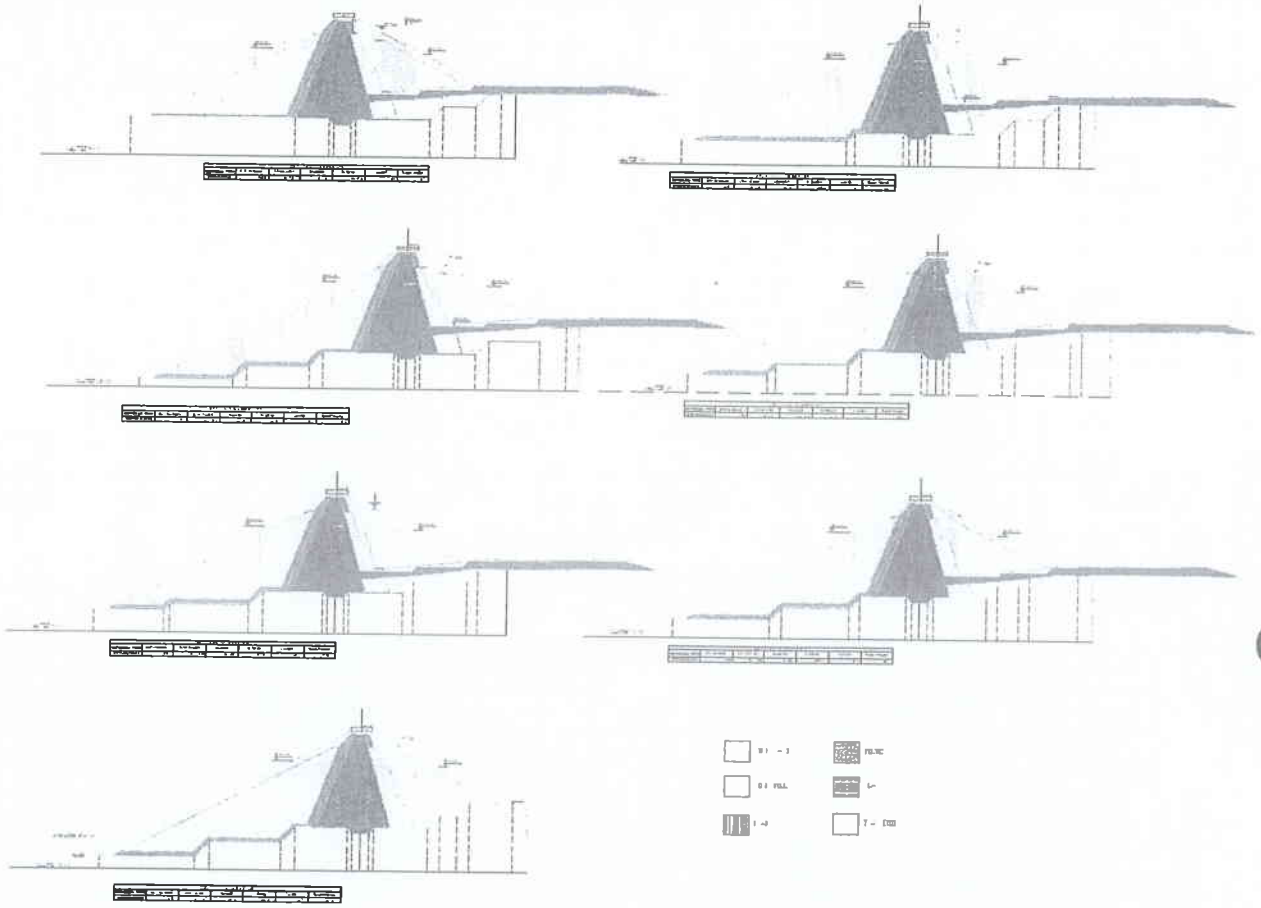
Le projet initial que nous nommerons WET (pour World Engineering & Technology) s'affranchissait du problème d'étanchéité en mettant en place une un système d'étanchéité recouvrant tout le barrage et une partie du réservoir. L'étanchéité était faite de dalles jointives
Le système prévu est complexe mais est conceptuellement correct à savoir que la partie supposée perméable est recouverte par **une étanchéité artificielle.**

Comme ce projet a été abandonné nous ne nous étendrons pas d'avantage à ce stade sur le sujet.

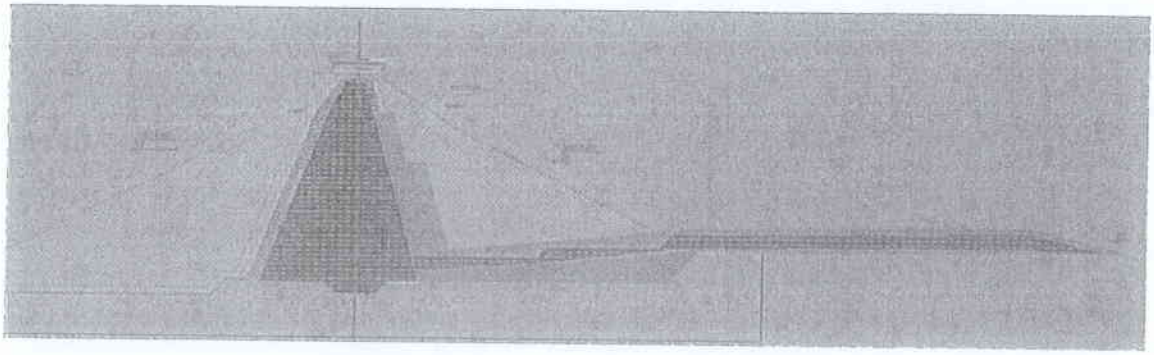
La difficulté principale de ce projet est de définir la position de la limite de cette protection. Il faudrait certainement que la plinthe soit ancrée plus profondément dans le basalte altéré. En outre l'ancrage dans le basalte est sujet à caution. Forer et injecter dans du basalte altéré est douteux. Il aurait mieux fallu faire une barrière de pieux sécants.
Le barrage de Balaa offre une géologie similaire (basalte altéré sur calcaires karstifiés.
Compte tenu de ces difficultés et après une analyse des couts de la plinthe, des ancrages et des injections nous avons opté pour le recouvrement total du réservoir.

Projet modifié

Comme indiqué plus haut le projet a été modifié comme présenté sur les coupes types ci-dessous.



Nous ne remettons pas en question la conception du barrage somme toute traditionnelle pour un barrage en terre. Le noyau a été dessine pour un gradient hydraulique de 3.



Nous sommes plus circonspects par l'adoption d'un tapis argileux.
Le tapis en argile repose sur une transition de dimension maximale 100 mm. Cette transition nous parait trop ouverte pour être filtre avec l'argile. Une solution raisonnable pour le tapis amont aurait été de haut en bas ; argile, filtre, transition. En outre l'épaisseur de l'argile semble bien faible. Le gradient hydraulique est, nous semble-t-il, trop fort.

L'issue principale dans cette modification ainsi que dans la conception originale du projet était l'hypothèse que le basalte apparent dans le réservoir est étanche, ce qui n'est pas le cas et seule une étanchéité artificielle permet d'assurer l'étanchéité.

Dans son rapport 11 en date du mois d'aout 2009, l'expert international fait mention de plusieurs recommandations.

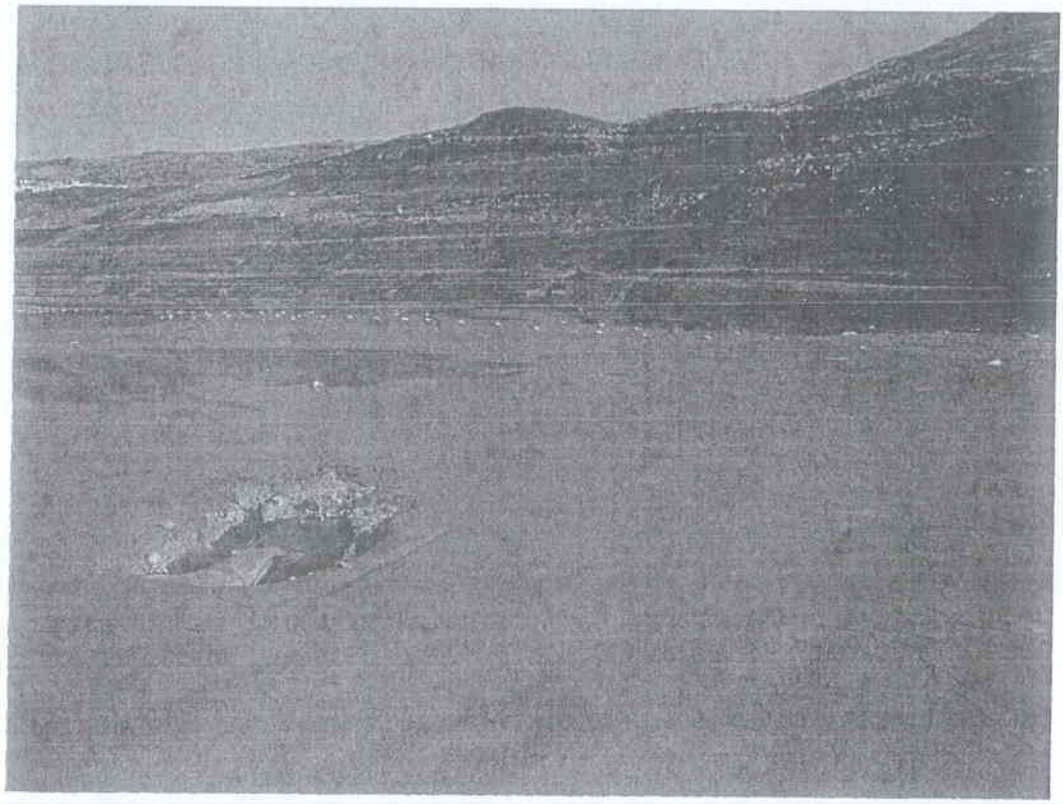
Le problème a été mentionné plus tôt dans l'excellent rapport de 2006 déjà mentionné,

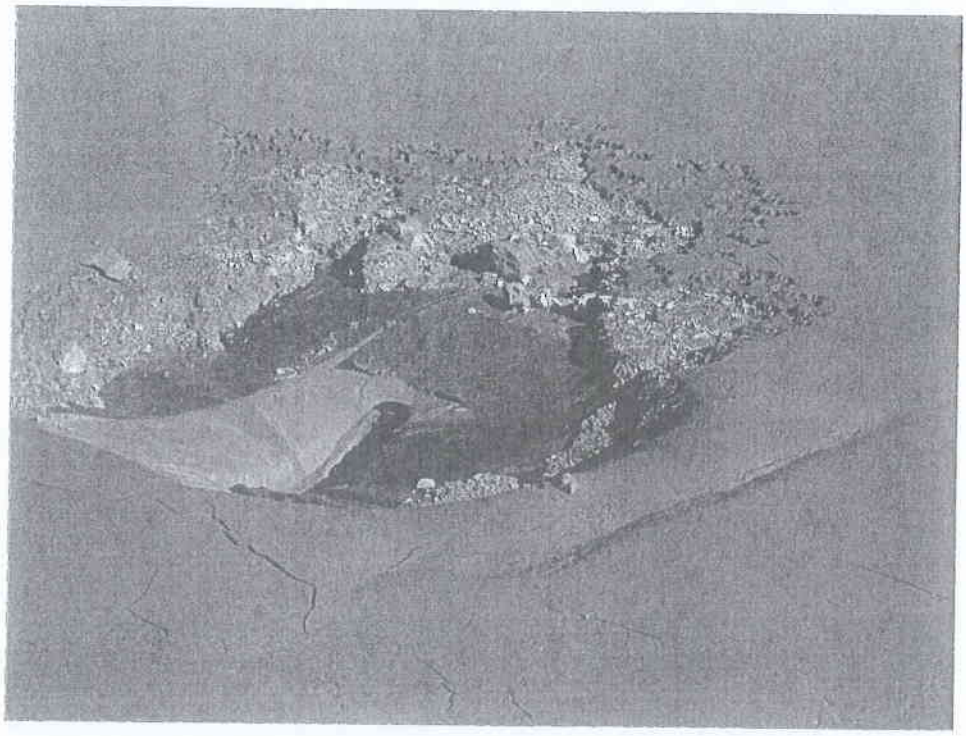
La gestion du programme des travaux du barrage et des injections a été, semble-t-il, un obstacle à la prise en compte des conclusions du programme de 2006.

Il ne fait maintenant aucun doute que le réservoir doit être étanché complètement.

Concernant la méthode d'étanchement l'essai réalisé de la pose de20 000 m2 de membrane est instructif.

Le rapport relatif à la visite du 7 novembre 2012 décrit le comportement de la partie étanchée par une membrane et un géotextile et en décrit les problèmes. Nous ne détaillerons pas ces dommages plus en avant si ce n'est de montrer un cas typique d'endommagement





Il est à noter que cet incident est apparu avec un réservoir dont le niveau était de 7 mètres inferieur au niveau de la retenue normale.
C'est le phénomène que nous avons rencontré à la retenue des herbes Blanches citée en Annexe 2.

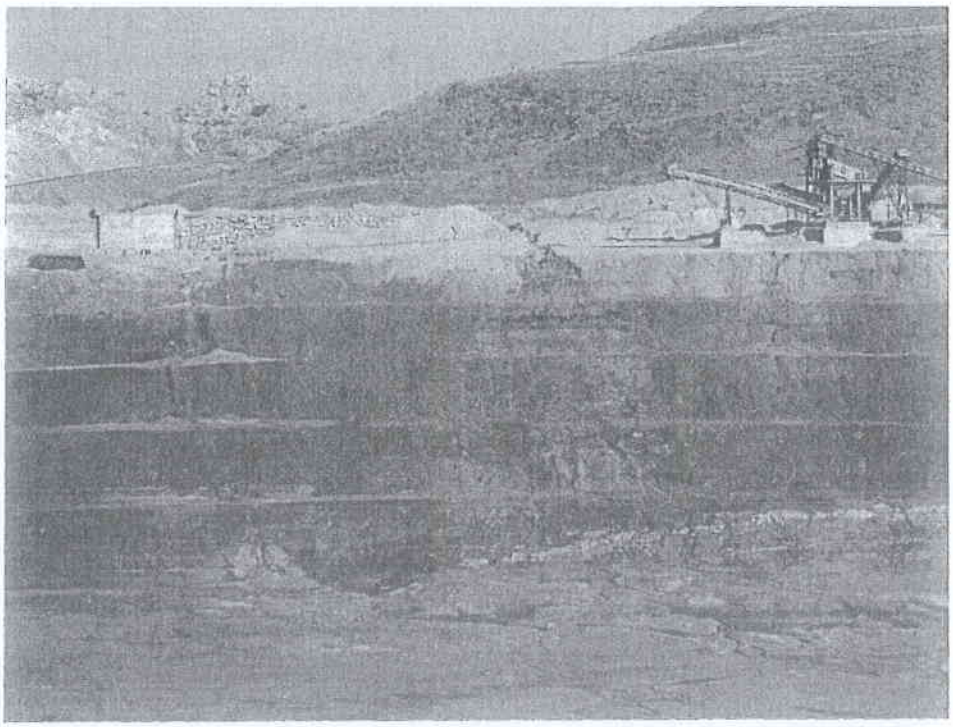
6. L'érosion et la stabilité des talus

La solution adoptée dans la conception initiale ainsi que dans la solution modifiée pour la création du réservoir consiste en excavant des talus à l'amont formé de pentes raides et de risbermes, cette solution n'est pas compatible avec des pentes de réservoir soumis à des phénomènes de vidange, de batillage et de stabilité générale par manque de maitrise des écoulements et des pressions venant de l'amont

La photographie ci-dessous montre l'étendue des problèmes.

Stabilité des talus

Les talus de l'excavation amont ne sont pas stables.
On doit profiter de l'effondrement visible pour pratiquer une analyse en retour pour comprendre le régime d'écoulement.



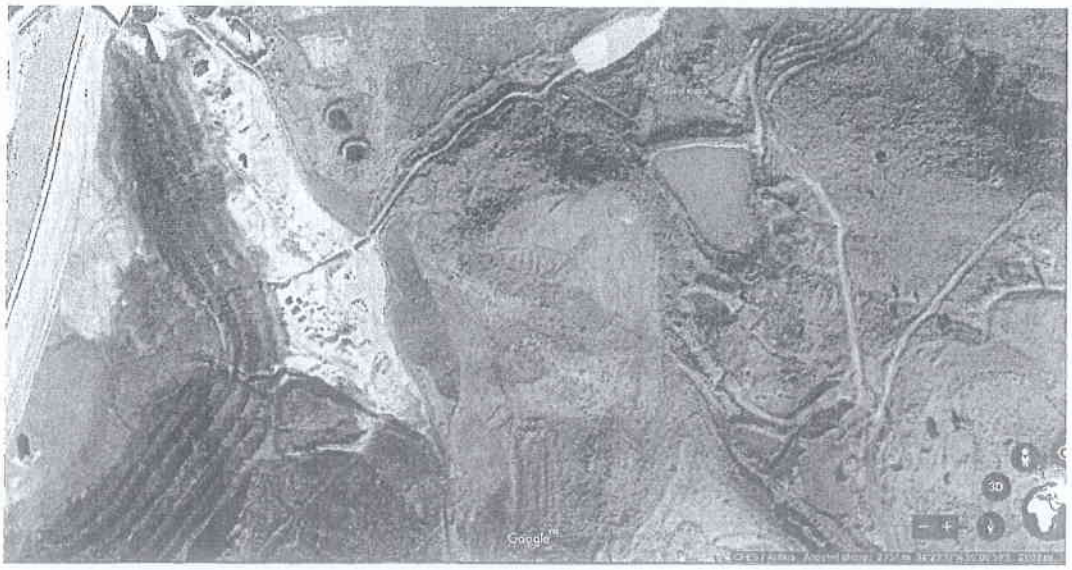
Il y a visiblement des bancs dits calcaires qui amènent de l'eau horizontalement.
Ce calcaire n'est pas homogène. A Balaa nous avons trouvé au-dessus d'un banc calcaire des horizons plus marneux qui crée ce qu'on nomme en anglais des « water bearing features ».

Erosion

On peut voir sur les photos des signes d'érosion dus aux agents météoriques mais également au batillage.

7. Le contrôle des débits entrants

Comme on peut le voir sur l'image ci-dessus il n'existe aucun contrôle des débits entrants.
On peut voir plusieurs ruisseaux pénétrant directement dans le réservoir.



On peut aussi noter la présence de plusieurs retenues collinaires dont la fonction et le mode opératoire ne nous sont pas connus.

Ce manque de contrôle a 2 conséquences :

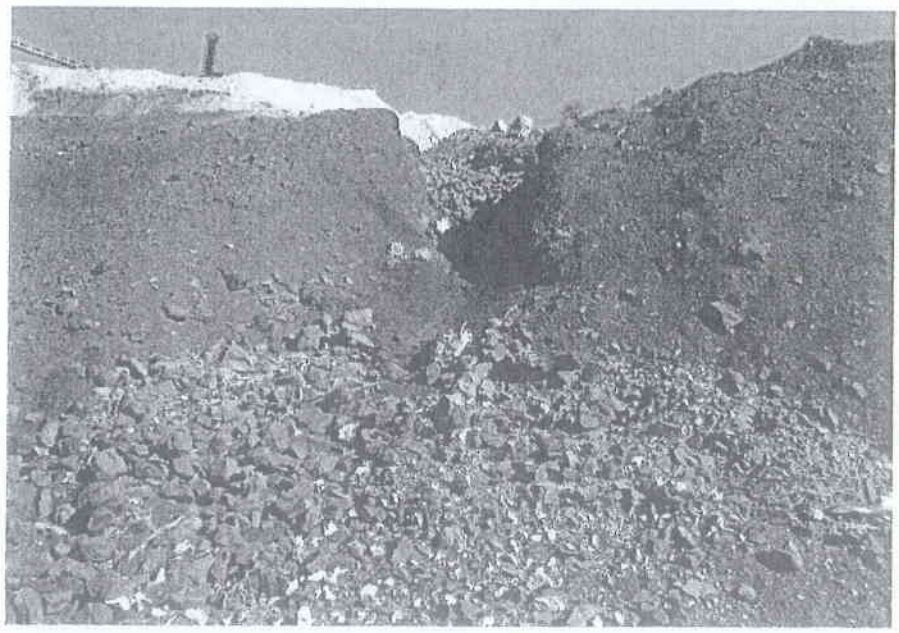
Le dépôt de sédiments

On peut voir un cône de sédiments dont le volume n'est pas connu.
L'étude hydrologique estime pour le bassin versant de Nabeh El Breissa un apport solide annuel variable entre 1 500 et 2 000 m^3 pour un bassin versant de 1.65 Km^2.

Le souci principal, autre que la réduction de volume, est que dans l'hypothèse d'une réhabilitation par revêtement étanche, les réparations éventuelles seront difficiles. Il est donc raisonnable de prévoir de capter ces sédiments au moyen d'un piège à sédiments d'un volume de 20 000 m3.
Ce sera le premier ouvrage à envisager.

Un ravinement profond du talus amont.

Comme on peut le voir sur la photographie ci-dessous le captage des thalwegs et absolument nécessaire.



8. Ouvrages annexes

Nous ne nous sommes pas penchés à ce stade sur les ouvrages annexes.
Cependant nous attirons l'attention du Maitre d'ouvrage sur le besoin de ventilation dans la galerie sous remblais si on ne veut pas voir le matériel hydromécanique se détériorer rapidement. En effet la circulation d'eau froide dans les tuyaux crée des points froids qui sont le siège de condensation (principe de Watt : La condensation est due au contact entre **un air intérieur chargé en vapeur d'eau et une paroi froide** : l'air, qui est saturé en vapeur d'eau, se transforme en eau sur cette paroi.)

9. Appréciation du cout de l'aménagement

Nous avons compris qu'à ce jour le cout de l'aménagement était de 14 millions de US dollar pour un volume de 1 750 000 m3 et une surface de 160 000 m2

Par comparaison le barrage de Balaa a un volume de 1 500 000 m3 mais une surface de 120 000 m2.
Au moment de l'appel d'offre le barrage de Balaa a été estime à 32 millions de USD

Deux ratios peuvent être calculés

- Le rendement topographique défini comme étant le rapport du volume du réservoir à sa surface
- Le cout de stockage USD/ m3

Au moment de l'appel d'offre le barrage de Balaa a été estime à 32 millions de USD.

Barrage		Balaa	Brissa
volume	m3	1500000	1750000
surface	m2	120000	160000
cout	USD	32000000	17000000
rendement topographique	m3/m2	12,50	10.9375
cout de stockage	USD/m3	21,33	9.71

Sur la base de ces ratios on peut penser qu'un coût raisonnable serait de l'ordre de 35 millions d'USD.
Le coût actuel de 17 000 000 USD peut être attribué, à notre avis à l'absence d'étanchéité totale ainsi qu'au manque d'ouvrages de contrôle des eaux entrantes.

10. Conclusions

L'aménagement de Brissa ne remplit pas sa fonction.

Le choix d'un site indéniablement difficile pour la construction d'un barrage surtout du point de vue complexité géologique et difficultés topographiques et l'absence d'investigations géotechniques profondes et géophysiques ainsi que la caractérisation du basalte avant la sélection finale constitue le problème initial.

Le changement de projet peut être justifié sur la base de similarité du concept avec le projet initial, sur la base des résultats de l'étude géologique initiale et des investigations limites conduites par l'Entrepreneur et sur la base des circonstances du chantier et du projet spécifiquement concernant la disponibilité des matériaux de construction et leurs coûts additionnels.
La situation s'est aggravée de deux manières :

- L'étanchement principal consiste à couper les écoulements horizontaux alors qu'ils sont principalement verticaux. Bien qu'un voile d'injection ait été réalisé on n'a constaté aucune nappe à l'aval lors du remplissage.

- Des excavations importantes ont certes augmenté le volume de la retenue mais, conformément aux études initiales, aucun traitement n'a été prévu pour contrôler les écoulements souterrains, la protection de leur surface contre l'érosion et le batillage.

Nous recommandons les actions suivantes

Etanchement de la surface du barrage, du fond de la retenue et des talus amonts par une étanchéité souple telle que béton bitumineux ou membrane PVC de haute qualité sur couche de base (petits enrochements) drainante et transition afin de limiter les débits en cas d'incident.
Sur le barrage il est donc nécessaire d'enlever l'enrochement amont. Cette couche sera concassée pour produire la couche de base et la transition à moindre coût.
La membrane HDPE semble devoir être exclue en raison des fortes variations de température journalière pendant la pose

Construction de structures de contrôle des eaux provenant des thalwegs

Création d'une route périphérique avec drainage et exutoires adaptes

Reprofilage des excavations amonts avec une pente de l'ordre de 1,8H/1V et installation d'un drainage en bas de talus relié au tapis drainant du fond de retenue.

Un aspect important à évoquer avec le Maitre d'ouvrage est bien sûr le planning des travaux évoquant les points ci-dessous

- Période de travaux annuels courtes en raison de l'altitude d'où l'étude d'un phasage approprie
- Comment fournir les avaliers (débit minimum ?)
- Comment protéger les travaux de réhabilitation contre les crues

Vannes 03 Juillet2019

Alain YZIQUEL

Independent Consultant

Civil Engineer

Member of the French Committee on Large dams

President of ICOLD technical Committee for Operation, rehabilitation and maintenance of dams

Accredited Fidic Adjudicator

Annexe 1:

Documentation mise à disposition

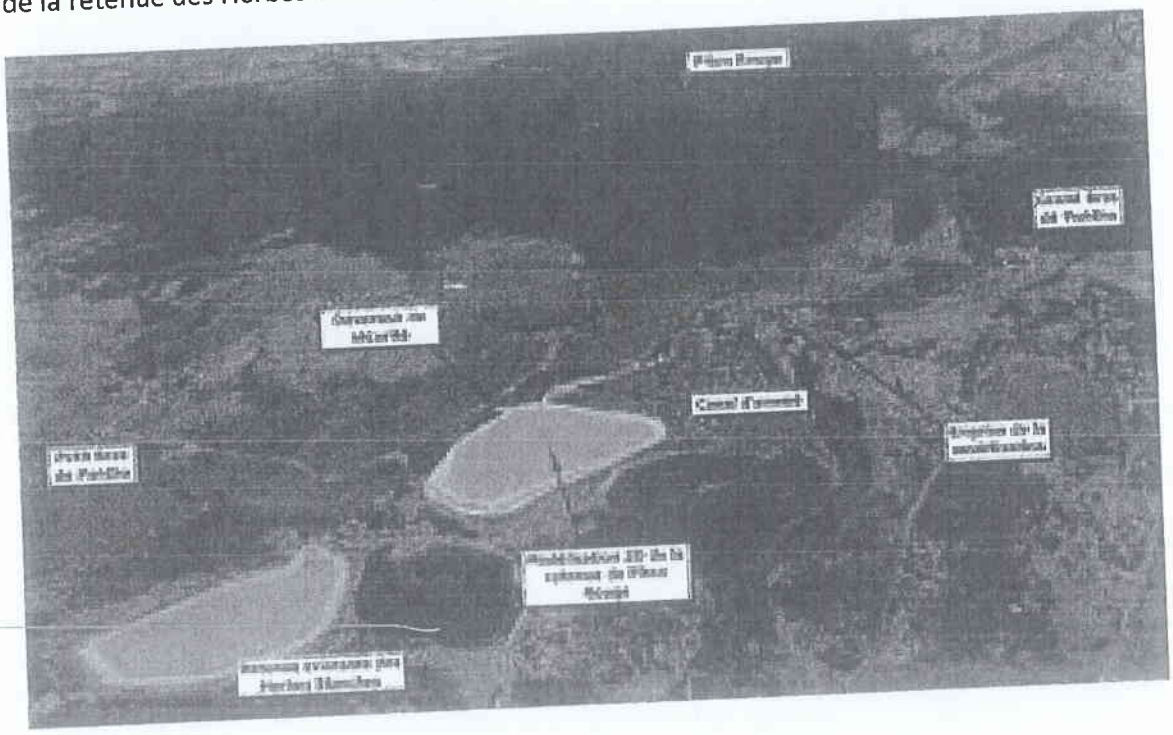
10/10/2013	Note sur les travaux à réaliser après la vidange de l'automne 20113	Ahmed Chraibi
28/11/2012	Geological observation report	Eyup Sabri Krgiz
07/11/2012	Visit d'inspection du barrage du 7 novembre 2012	Ahmed Chraibi
27/07/2010	Site visit report	Ahmed Chraibi
01/09/2009	Avis sur l'étanchements du réservoir	Dr Giovanni Lombardi et Ahmed Chraibi
20/09/2009	Levé géologique détaillé de la cuvette du barrage de Brissa (Liban Nord)	Dr Bahzad Hakim
07/08/2009	Report n12 of Mr. Ahmed Chraibi . visit carried out on 27 to 29 September 2009	Ahmed Chraibi
14/10/2008	Report n11 of Mr. Ahmed Chraibi. visit carried out on 5 to 7 August 2009	Ahmed Chraibi
09/09/2008	Report n10 of Mr. Ahmed Chraibi. visit carried out on 12 to 14 October 2008	Ahmed Chraibi
12/08/2008	Report n9 of Mr. Ahmed Chraibi . Visit carried out on 12 to 14 October 2008	Ahmed Chraibi
11/11/2006	Report n 8 of Mr. Ahmed Chraibi . visit carried out on 10 to 12 August 2008	Ahmed Chraibi
24/07/2006	Report n7 of Mr. Ahmed Chraibi . visit carried out on 7 to 11 November 2006	Ahmed Chraibi
mars-06	Short notice of some problems	Dr Giovanni Lombardi
01/09/2005	Etanchéité du réservoir suivi géologique d'exécution-synthèse des données des sondages	Mohammed Mekboul
01/08/2005	Report n 6 of Mr. Ahmed Chraibi . visit carried out on 26 to 29 September 2005	Ahmed Chraibi
juil-05	Report n 5 of Mr. Ahmed Chraibi . Visit carried out on 7to 12 august 2005	Ahmed Chraibi
18/05/2005	Cartographie synthèse des informations géologiques disponible et impact de ces données sur le projet	Mohammed Mekboul
01/03/2005	Report of Mr. Ahmed Chraibi . Visit carried out on 15 to 18 may 2005	Ahmed Chraibi
01/09/2004	Report n 2 of Mr. Ahmed Chraibi following documents review on March 2005	Ahmed Chraibi
	Report n 2 of Mr. Ahmed Chraibi following the visit carried out on 13/09 to 15/09/2004 March 2005	Ahmed Chraibi

Annexe 2:

Un problème modèle : La retenue des Herbes Blanches (Ile de la Réunion)

Nous présentons ci-dessous un ouvrage très similaire au barrage de Brissa qui a connu dès son premier remplissage des fuites importantes bien que le barrage et le réservoir ait été revêtu d'une membrane souple et d'un géotextile.
Le site est composé de matériaux similaire à celui à celui de Brissa (basalte, cendres) avec les calcaires karstiques en moins.
Les déformations ponctuelles au-dessus des failles ont entrainé rupture du géotextile et de la membrane.

Compte tenu de la défaillance originale de ce projet peu de documentation existe.
J'ai eu la chance en 1981 de m'occuper du projet de Piton Rouge (en bleu) situe à proximité de la retenue des Herbes blanches (en vert)



Dans le milieu des années 70, une première retenue fut donc construite sur le site
Malheureusement, pour des raisons techniques, notamment des problèmes de fuite, la retenue fut abandonnée en 1988. Les réparations successives n'ayant pas donné de résultat.

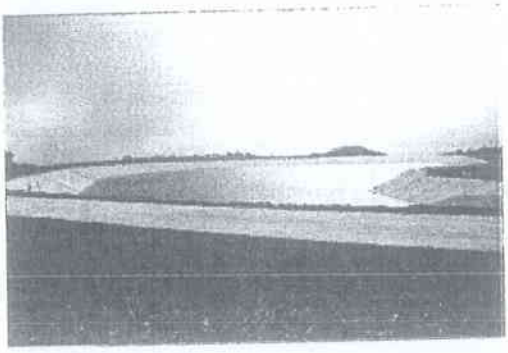
Ce n'est que récemment que cette retenue a été réhabilitée sur financement Européen.

Réhabilitation de la retenue collinaire des Herbes Blanches
Commune du Tampon

Descriptif synthétique de l'opération

Les besoins en eau sur la commune du Tampon se subdivisent comme suit :
- urbains (domestiques municipaux et consommations spécifiques...) soit 4.35 millions de m2 par an
- et agricoles, soit 0.274 millions de m3 par an.

Les besoins en eau agricole étaient satisfaits par des retenues collinaires individuelles ou semi collectives et par le réseau d'eau potable, le schéma directeur établi en 1998 a mis en évidence la nécessité de déconnecter la majorité des consommations agricoles de la zone Haute de la commune et de les desservir par des aménagements hydro-agricoles indépendants du réseau AEP. (Adduction en Eau Potable)
La réhabilitation de la retenue collinaire des Herbes Blanches permet ainsi la mobilisation d'une capacité minimale de 300 000 m3, pour satisfaire 82% des besoins en eau d'irrigation de ce secteur.



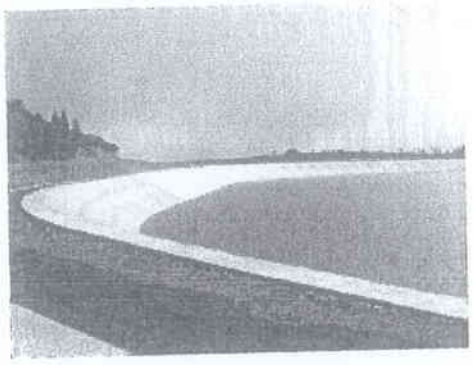
Cette infrastructure est située à la Plaine des Cafres à 2 km environ au Nord-Est de Bourg-Murat, sur le territoire de la commune du Tampon

Quelques chiffres :

- Coût total de l'opération : 6,6 M€
- Participation UE : 3,6 M€ (FEOGA)

Quelques indicateurs :

Capacité de la retenue : 350 000 m3
Surface irrigable : 400 ha
Emprise de la retenue : 5,4 ha
Capacité de l'ouvrage d'alimentation : 21 m3/s
Capacité de l'ouvrage de prise pour l'alimentation du réseau d'irrigation: 100 l/s soit 8640 m3/j



Ce projet est cofinancé par l'Union Européenne

UNION EUROPEENNE

La nouvelle retenue de Piton Rouge tire les leçons de l'échec de la première, avec l'utilisation de nouveaux matériaux pour l'étanchéité, un reprofilage du bassin, avec des pentes plus douces et un volume de stockage qui passera de 400.000 mètres cube pour le bassin initial à 350.000 pour le nouveau site. La construction s'est achevée récemment (2017). Les usagers ont donc attendu plus de 30 ans, Il était en effet hors de question de

s'engager dans la construction de la retenue de Piton Rouge sans avoir résolu le problème posé par la retenue des herbes blanches

En résumé l'expérience passée montre que dans le type de géologie prévalant à Brissa, on ne peut compter sur l'étanchéité naturelle des basaltes altérés. La mise en place d'une membrane sur géotextile n'offre pas une solution pérenne sans traitement préalable de la fondation.