

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2018

—

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

(Classes de terminale S)

Durée : 5 heures

—

L'usage de la calculatrice est autorisé

Consignes aux candidats

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numéroter chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours :

Concours / Examen : CGL

Section/S spécialité/Série : SCVDT

Epreuve : 101

Matière : SVTE

Session : 2018

- **L'usage d'une calculatrice est autorisé** pour cette épreuve.
- Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le chef de centre qui vérifiera et éventuellement remplacera son sujet.
- Aucune introduction générale ni conclusion générale n'est attendue.
- Les documents annexes ne sont pas à étudier en tant que tel.
- **La copie doit reprendre la numérotation des questions et des documents.**
- Clarté, rigueur et concision des propos seront déterminants dans l'évaluation de la copie.
- Seules les copies des candidats qui auront traité l'intégralité du sujet seront examinées par le jury.
- Il est conseillé aux candidats de commencer par la rédaction de la partie I.

Sources des documents :

- Vito Valenti et Alfred Bertini, **Barrage de Malpasset, de sa conception à sa rupture** (2005)
- Marcel Foucou, **Malpasset, une tragédie déjà entrée dans l'histoire** (1978)
- Pierre Duffaut, **Cinquantenaire de la rupture des fondations et du barrage de Malpasset** (2013)
- Pierre Duffaut, **The traps behind the failure of Malpasset arch dam, France, in 1959** (2013)
- Roger Ginocchio et Pierre-Louis Viollet, **L'énergie hydraulique** (2012)
- Burt G. Look, **Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables** (2014)
- T. Mulder et co., **Deposits related to the failure of the Malpasset Dam in 1959** (2009)
- Martin Boudou, **Approche multidisciplinaire pour la caractérisation d'inondations remarquables** (2015)
- Darren Lumbroso, **L'évolution récente de la modélisation des évacuations** (2011)
- Comité français des Barrages et Réservoirs, **Barrage de Malpasset, l'accident du 2 décembre 1959** (2009)
- Groupe RME, **La catastrophe de Fréjus** (2009)
- Météo-France, www.meteofrance.com
- Géoportail, geoportail.gouv.fr
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
- Planet-Terre, planet-terre.ens-lyon
- physicalgeology.pressbooks.com
- www.prc.cnrs.fr
- Technicien De Génie Civil, **Propriétés des matériaux naturels**
- Photographies de Daniel Lemel
- www.crbg.cnrs-nancy.fr

PARTIE 1 : DE L'ORIGINE DE LA BIODIVERSITÉ DES INDIVIDUS À LA BIODIVERSITÉ DES ESPÈCES.

Vous montrerez les mécanismes à l'origine de la diversité des individus puis présenterez les processus qui expliquent comment cette diversité peut être à l'origine de la diversité des espèces. Votre exposé sera organisé à l'aide d'un texte structuré (plan avec titres informatifs), clairement argumenté et illustré.

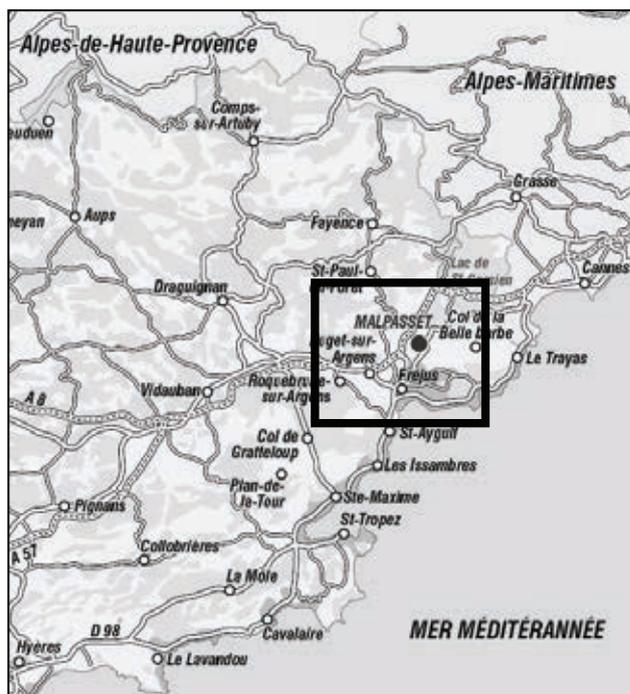
Durée de rédaction conseillée : 2 heures.

PARTIE 2 : DE LA CONCEPTION DU BARRAGE DE MALPASSET À SA RUPTURE.

A – Contexte hydrologique de la région.

DOCUMENT 1 : Les besoins en eau du département du Var.

À la fin de la guerre 1939-1945, la première priorité du Conseil Général du Var s'est portée sur l'équipement hydraulique de la région. Les besoins les plus importants se situaient au sud entre Saint-Raphaël, Fréjus, Sainte-Maxime et Saint-Tropez. La population de cette région littorale avait été estimée à 45 000 habitants. On estimait aussi que dans un proche avenir, elle en compterait, en pointe estivale, 150 000. Cela nécessitait un volume annuel de 6 500 000 m³ d'eau potable. Les besoins agricoles d'un périmètre cultivé de 5 260 hectares, dont 1 677 irrigables, réclamaient une réserve annuelle de 13 100 000 m³.



Localisation de la zone d'étude

Le Reyran est un torrent du département du Var. La surface du bassin versant* du Reyran est de 71 km².

* *Bassin versant : espace drainé par un cours d'eau et ses affluents. L'ensemble des eaux qui tombent dans cet espace convergent vers un même point de sortie appelé exutoire.*

DOCUMENT 2 : Données climatiques de la station de Le Luc (proche de Fréjus).

Normales* mensuelles

	Température minimale	Température maximale	Hauteur de précipitations	Durée d'ensoleillement
	1981-2010	1981-2010	1981-2010	1991-2010
Janvier	1,4 °C	12,6 °C	71,5 mm	150,9 h
Février	1,8 °C	13,8 °C	40,8 mm	169,4 h
Mars	4,3 °C	17,0 °C	45,0 mm	224,5 h
Avril	7,0 °C	19,4 °C	70,1 mm	227,9 h
Mai	11,0 °C	23,8 °C	59,0 mm	273,0 h
Juin	14,6 °C	28,2 °C	48,5 mm	315,0 h
Juillet	17,1 °C	31,8 °C	17,2 mm	357,2 h
Août	16,9 °C	31,6 °C	45,0 mm	321,4 h
Septembre	13,5 °C	26,9 °C	79,5 mm	247,8 h
Octobre	10,5 °C	21,6 °C	118,5 mm	175,4 h
Novembre	5,7 °C	16,1 °C	99,0 mm	147,1 h
Décembre	2,5 °C	12,7 °C	82,6 mm	134,6 h

Normales* annuelles

Température minimale	Température maximale	Hauteur de précipitations	Nombre de jours avec précipitations	Durée d'ensoleillement
1981-2010	1981-2010	1981-2010	1981-2010	1991-2010
8,9 °C	21,3 °C	776,7 mm	64,0 j	2744,2 h

* Normales : les normales climatiques sont des produits statistiques calculés sur des périodes de 30 ans. Elles permettent de caractériser le climat sur cette période et servent de référence. Par exemple, la température normale du mois de janvier a été calculée en moyennant les températures moyennes mensuelles des trente mois de janvier de 1981 à 2010.

DOCUMENT 3 : Débits moyens du Reyran à l'exutoire du bassin versant.

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Débits (m ³ /s)	1,11	1,12	0,847	0,59	0,478	0,163	0,054	0,065	0,123	0,739	0,938	0,89	0,59

1°) Déterminez le volume d'eau moyen déversé par les pluies sur le bassin versant du Reyran, en une année, au mois de juillet et au mois de décembre.

2°) Déterminez le volume d'eau moyen déversé par le Reyran à l'exutoire du bassin versant en une année, au mois de juillet et au mois de décembre.

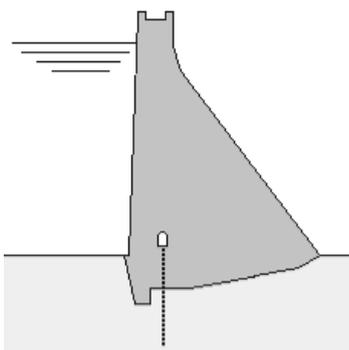
3°) Expliquez les différences constatées entre les volumes d'eau déversés par les pluies sur le bassin versant et les volumes d'eau déversés par le Reyran à l'exutoire.

4°) En comparant les volumes d'eau déversés par le Reyran à l'exutoire, aux besoins en eau des habitants et de l'agriculture, expliquez pourquoi l'approvisionnement en eau de la région est problématique.

B – Construction du barrage de Malpasset.

DOCUMENT 4 : Deux types de barrages.

Les barrages sont répartis en deux familles, en fonction de la nature de la réaction à la poussée de l'eau : réaction par le poids : barrages-poids et réaction par appui sur les rives : barrages-voûtes.

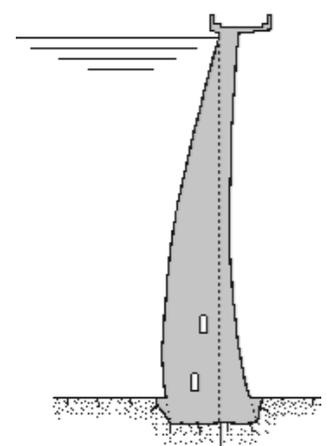


De façon très schématique, un **barrage-poids** est un bloc construit en maçonnerie ou en béton, assez lourd pour résister à la poussée, exercée par l'eau, qui cherche à le faire glisser sur sa base ou à le faire basculer. Ce type d'ouvrage nécessite donc la mise en œuvre d'une quantité très importante de matériau.

Le barrage-poids offre de grandes facilités d'implantation car sa stabilité n'est que faiblement liée à la résistance mécanique des rives. Il peut être employé quelle que soit la largeur de la vallée. En revanche, il ne peut être construit sur un sol de fondation non rocheux, car des tassements inégalement répartis produiraient des efforts de traction amenant la fissuration de l'ouvrage.

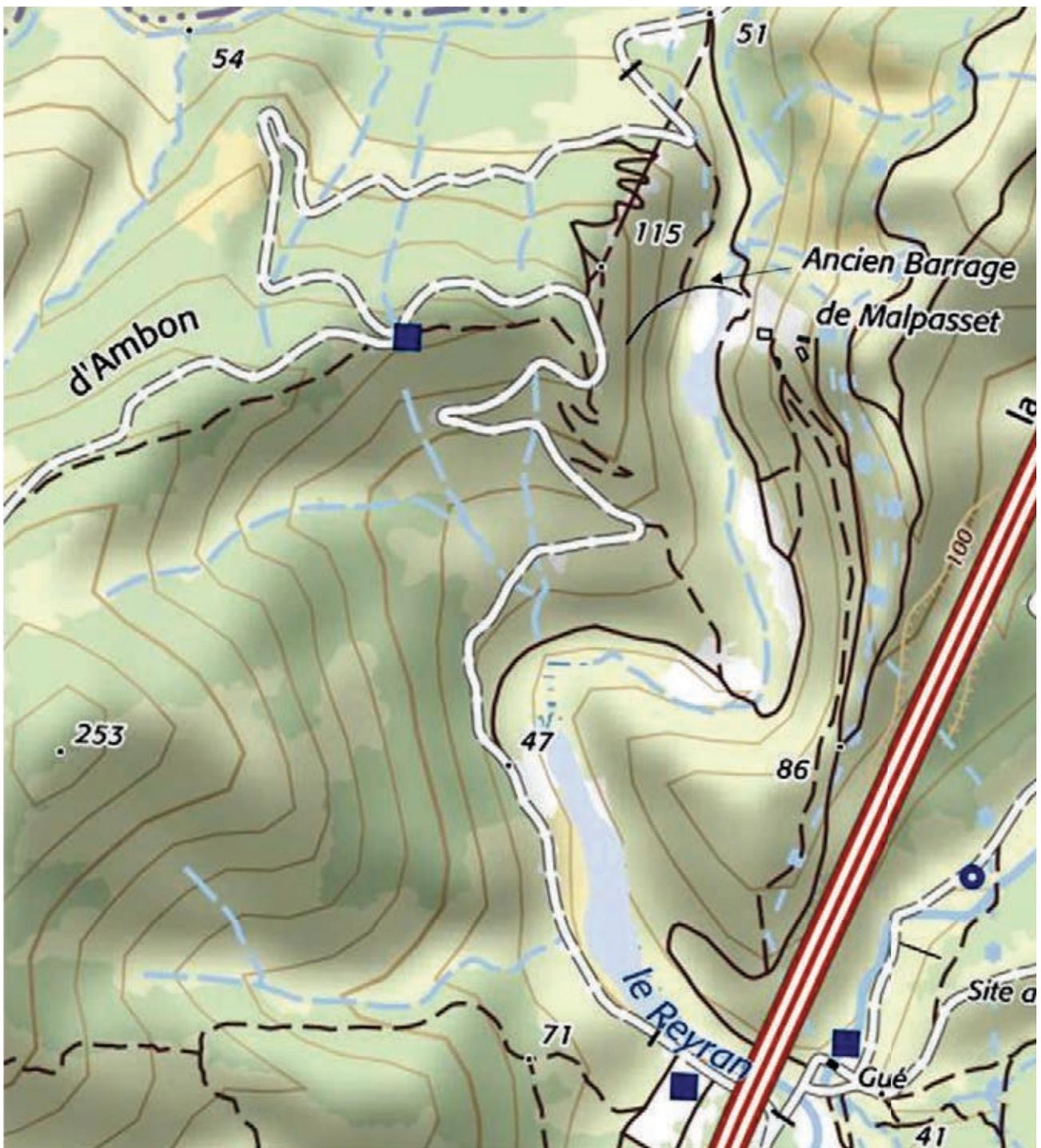
Comme son nom l'indique, un **barrage-voûte** résiste à la pression de l'eau par l'effet voûte, c'est à dire en s'arc-boutant sur les flancs de la vallée. Son mode de résistance est donc très différent de celui d'un barrage-poids et met en jeu, non plus l'équilibre statique de tranches verticales parallèles, mais l'équilibre élastique de l'ensemble de l'ouvrage. Par contre, il sollicite fortement ses appuis et exige donc une assise géologique de bonne qualité pour rester dans le domaine élastique.

Les barrages-voûtes permettent de réaliser des économies très importantes sur le volume du béton par rapport aux barrages-poids : l'économie de matière est comprise entre 1/3 et 2/3. L'économie dans le prix de l'ouvrage est cependant légèrement moins importante car le béton utilisé dans les barrages-voûtes est plus coûteux et les coffrages plus compliqués. Toutefois, l'emploi des barrages-voûtes n'est possible que dans des vallées de largeur relativement faible par rapport à la hauteur.



5°) Dans un tableau, comparez les différents types de barrages en choisissant judicieusement les critères de comparaison.

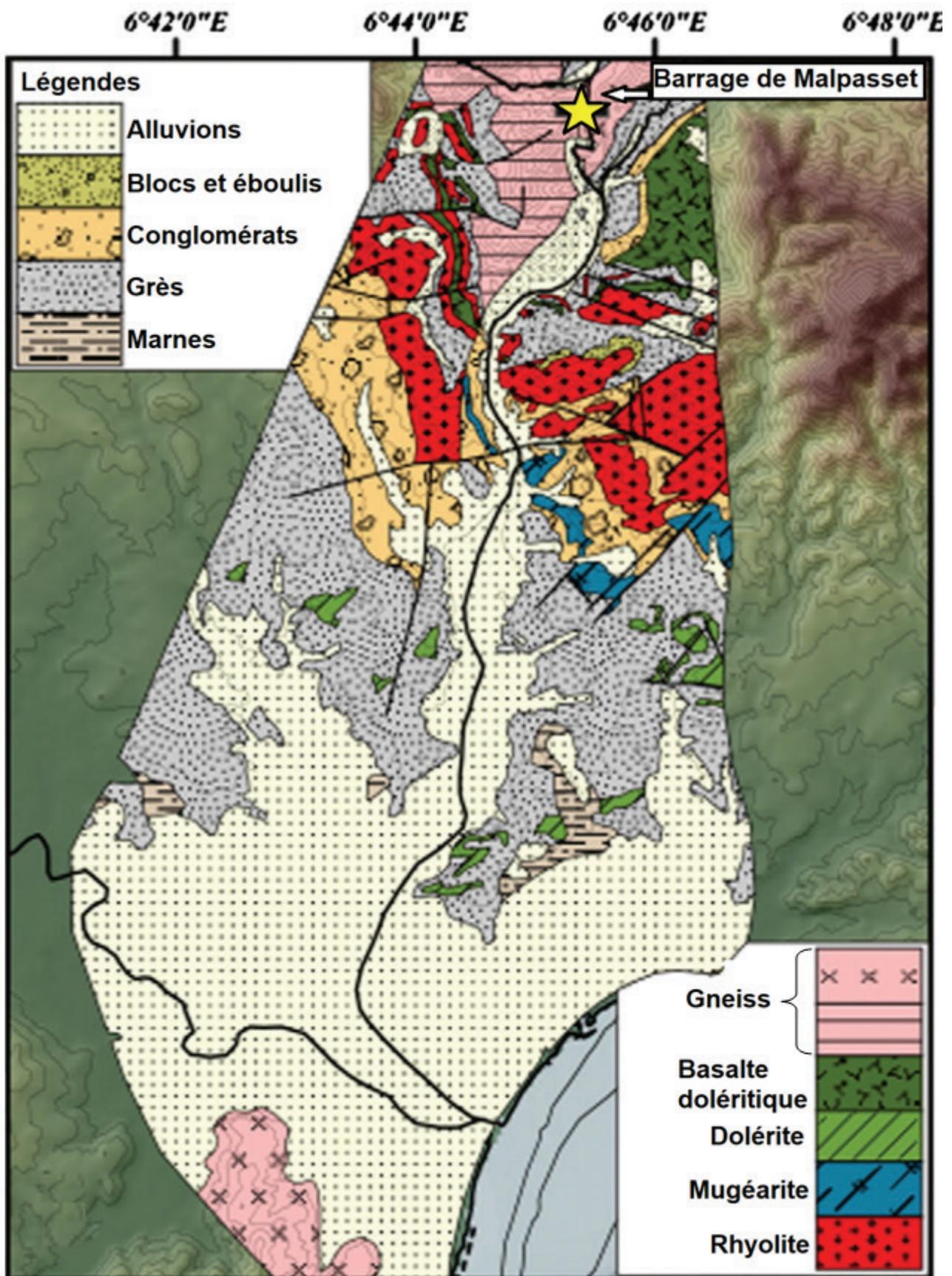
DOCUMENT 5 : Carte topographique dans la région de l'ancien barrage de Malpasset.



-  Courbe de niveau
-  Piste-chemin
-  Route
-  Autoroute



DOCUMENT 6 : Carte géologique de la région de l'ancien barrage de Malpasset.



DOCUMENT 7 : Résistance à la compression uniaxiale en MPa de certaines roches.

L'essai de compression uniaxiale ou de compression simple consiste à comprimer un échantillon de roche de forme cylindrique entre deux plateaux parallèles d'une presse rigide. Les essais se font généralement par lots de 5 échantillons de roche homogène pour obtenir une bonne moyenne.

Résistance à la compression uniaxiale (MPa)	Roches sédimentaires	Roches métamorphiques	Roches magmatiques
10	halite (NaCl), craie		
20	mudstone (issue de boue argileuse), charbon, gypse (CaSO ₄ , 2H ₂ O), grès, calcaire		granodiorite
40	mudstone, grès, argile, marnes		
60	grès, dolomite (calcaire magnésien), calcaire, marnes	schiste, micaschiste	granodiorite
80		ardoise, quartzite (issue de la recristallisation d'un grès)	granite, rhyolite, serpentinite
100	dolomite (calcaire magnésien) grès, calcaire	marbre (calcaire métamorphisé), schiste, quartzite	granite
150	grauwacke (grains fins de quartz, feldspaths, etc. cimentés par une matrice argileuse)	gneiss	granite, granodiorite, rhyolite
200		quartzite	granite, diorite
250			basalte doléritique, dolérite

Qualification de la résistance d'une roche en fonction de la valeur de la résistance en compression simple R_c

Classe	Résistance en compression uniaxiale σ_c (MPa)	Qualification de la résistance σ_c
R ₁	> 200	Très élevée
R ₂	200 à 60	Élevée
R ₃	60 à 20	Moyenne
R ₄	20 à 6	Faible
R ₅	< 6	Très faible

6°) À l'aide des documents 4 à 7 et du document 17, identifiez quel type de barrage a été construit à Malpasset et expliquez les raisons de ce choix de type de barrage.

DOCUMENT 8 : Les tranches d'eau de la retenue du barrage de Malpasset.

On avait conçu d'établir derrière le barrage :

- une retenue immuable, dite « tranche morte », de 22 millions de m³, du pied de l'ouvrage (cote* +43,5m) jusqu'à la cote +85m. C'était la « flaque » qui resterait éternellement dans le fond du barrage. Inutile ? Pas tout à fait ! Elle représentait la réserve d'eau en cas d'incendie.

- De la cote +85m à la cote +98,5m, se situait la « tranche utile » de 24,56 millions de m³ d'eau.

- De la cote +98,5m à la cote +100,4m, une tranche dite « d'amortissement des crues », de 4 millions de m³, permettant d'éviter à la plaine d'Argens, située en aval du barrage, les inondations qu'elle subissait régulièrement auparavant.

* Cote : altitude d'un point par rapport à une surface de référence.

7°) En utilisant votre réponse à la question 4°) et le document 8, expliquez pourquoi la construction du barrage de Malpasset permettait de résoudre la problématique des besoins d'approvisionnement en eau.

DOCUMENT 9 : Photographie d'un bloc de béton issu du barrage.



Matrice A

Roche B

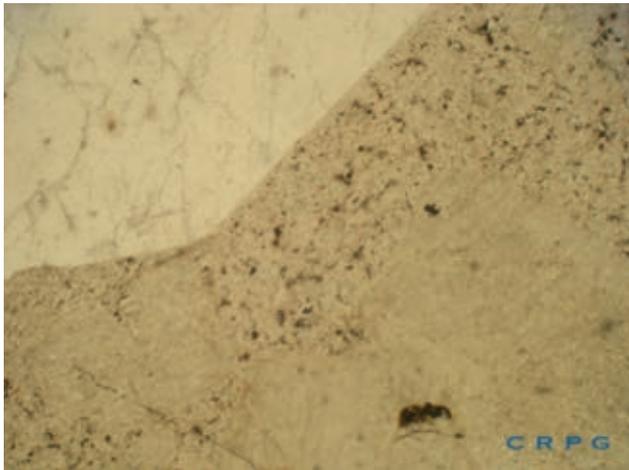


Observation de la roche B à l'œil nu

Remarque : les minéraux qui apparaissent brillants noirs sont des minéraux plus ou moins transparents, peu colorés.

DOCUMENT 10 : Observation de la roche B au microscope.

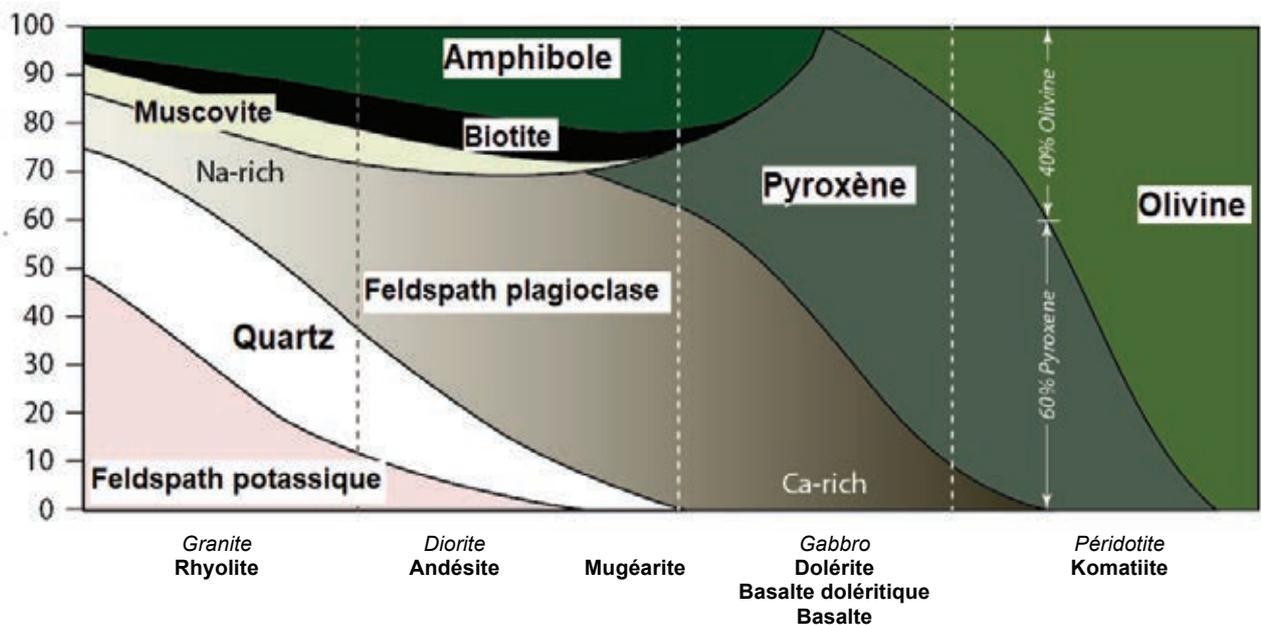
Observation en LPNA



Observation en LPA



DOCUMENT 11 : Abondance des minéraux (en %) dans différentes roches magmatiques.

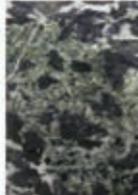


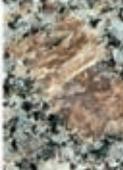
Remarque : les roches plutoniques sont indiquées en italique et les roches volcaniques en gras.

(Na-Rich/Ca-Rich : composition des plagioclases plus ou moins riches en Na et Ca)

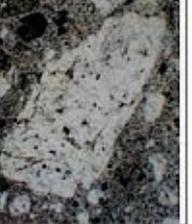
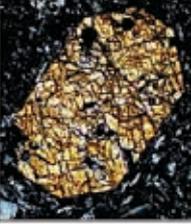
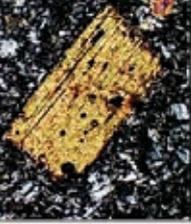
DOCUMENT 12 : Planches d'identification des minéraux.

À l'œil nu

Minéraux Caractéristiques	Olivine	Pyroxène		Grenat	Amphiboles	
		Augite	Jadéite		Hornblende	Glaucofane
Aspect, forme et couleur	Minéral granuleux vert olive	Minéral sombre de couleur brune, surfaces planes à reflets métalliques.	Minéral sombre de couleur verdâtre (vert jade)	Minéral globuleux, hexagonal de couleur rose à rouge	Minéral sombre (noir à vert très foncé). En auréole dans un métagabbro	Minéral sombre (noir à bleu foncé). En auréole dans un métagabbro
Photographie						

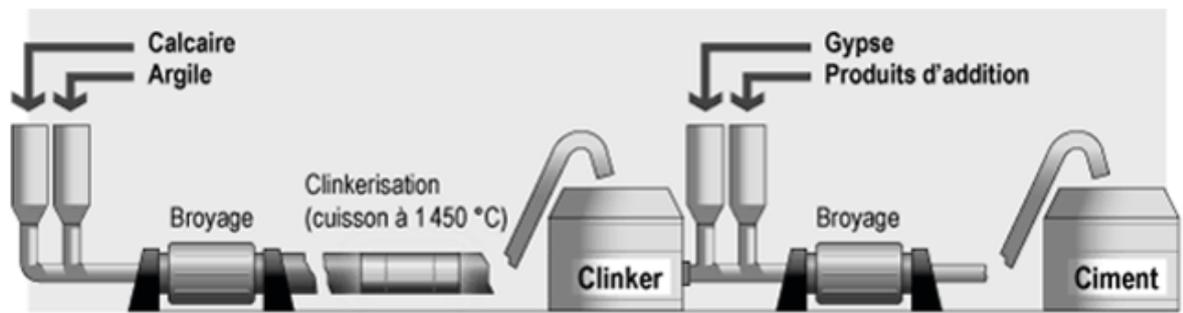
Minéraux Caractéristiques	Feldspath		Mica		Quartz
	Orthose	Plagioclase	Biotite	Muscovite	
Aspect, forme et couleur	Minéral blanc rosé, et souvent sub-rectangulaires	Minéral blanc, mat, souvent sub-rectangulaires.	Minéral en lamelles ou paillettes brunes foncées ou noires brillantes	Minéral en lamelles ou paillettes incolores ou argentées.	Minéral à l'aspect de gros sel. Incolore à gris.
Photographie					

Au microscope

AU MICROSCOPE avec le grossissement minimum	PYROXENES	AMPHIBOLES	MICAS	QUARTZ	FELDSPATHS	
		Hornblende	Biotite		Orthose ou Sanidine	Plagioclases
	En LPNA sans analyseur	Sections rectangulaires à angles tronqués. Couleur beige rosé ou vert pâle. Deux séries de fissures parallèles (clivages).	Minéral brun-verdâtre, dont la couleur varie en fonction de l'orientation. Deux séries de fissures parallèles (clivages). Sections losangiques à pointes tronquées.	Minéral brun foncé à beige dont la couleur varie avec l'orientation. Sections rectangulaires avec fines fissures parallèles dans le sens de la longueur (clivages)	Minéral incolore très limpide. Sections globuleuses ou grossièrement hexagonales à crêtes émoussées.	Minéral incolore avec nombreuses impuretés lui donnant un aspect sale. Sections grossièrement rectangulaires à extrémités arrondies.
En LPA avec analyseur	Teintes de polarisation : jaune, orange, rouge ou magenta. Présence éventuelle de plusieurs teintes séparées par une ligne (macles).	Teintes vives de polarisation : rouge, magenta, bleu, vert, très atténuées par la couleur naturelle du minéral.	Teintes vives de polarisation : rouge, magenta, bleu, vert, jaune, très atténuées par la couleur naturelle.	Teinte de polarisation : gris clair à blanc.	Teintes de polarisation : gris plus ou moins foncé présentant des marbrures. Présence éventuelle de deux moitiés de cristal séparées par une ligne.	Teintes de polarisation : gris plus ou moins clairs répartis en bandes dans le sens de l'allongement (macles polysynthétiques).
En lumière polarisée mais non analysée (LPNA)						
En lumière polarisée et analysée (LPA)						

Remarque : l'orthose et la sanidine sont des feldspaths potassiques.

DOCUMENT 13 : Étapes de fabrication de la matrice A.



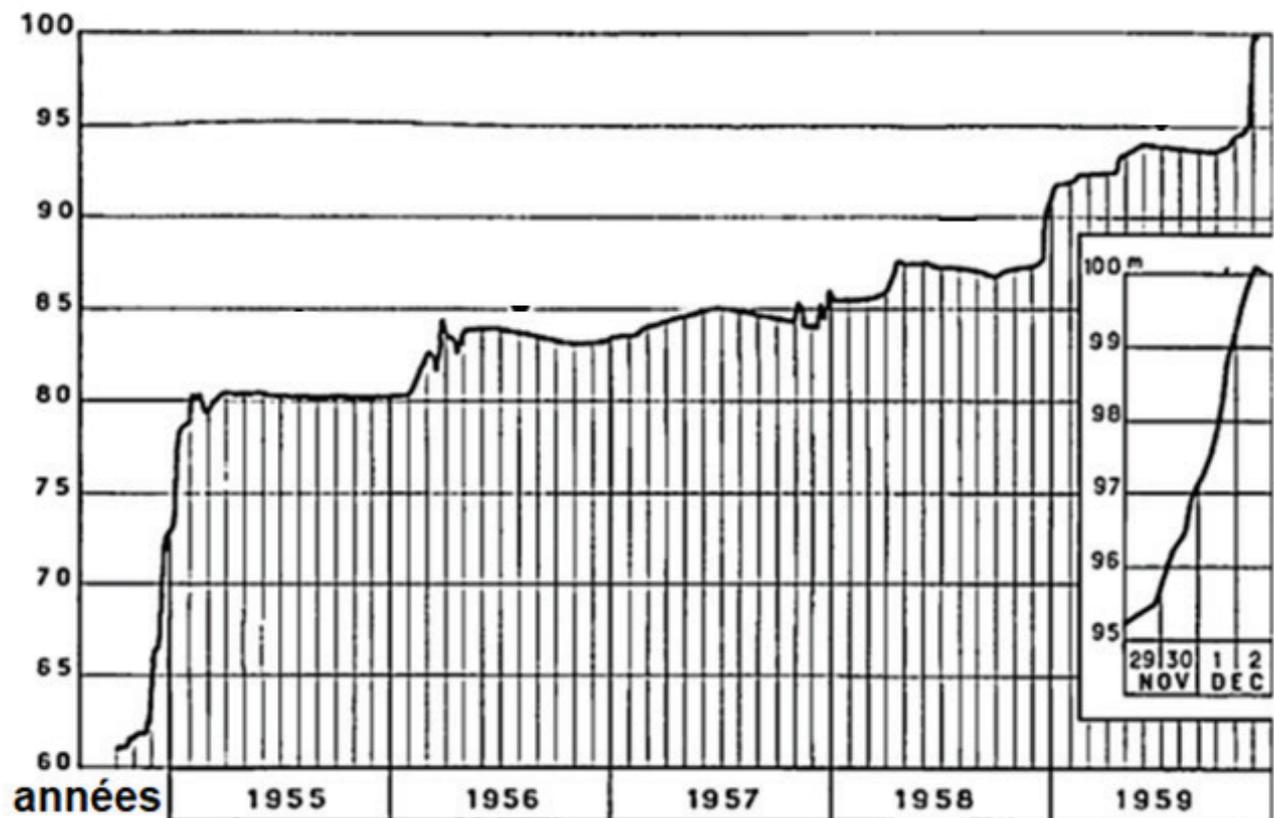
= matrice A

8°) À l'aide des documents 6 et 9 à 13, expliquez comment a été fabriqué le béton utilisé pour la construction du barrage de Malpasset (matériau utilisé, technique de fabrication). Indiquez si tous les matériaux nécessaires à la fabrication du béton ont pu être trouvés dans la région, et si non lesquels ont dû être importés.

C – Mise en eau du barrage de Malpasset.

DOCUMENT 14 : Le remplissage de la retenue d'eau du barrage de Malpasset

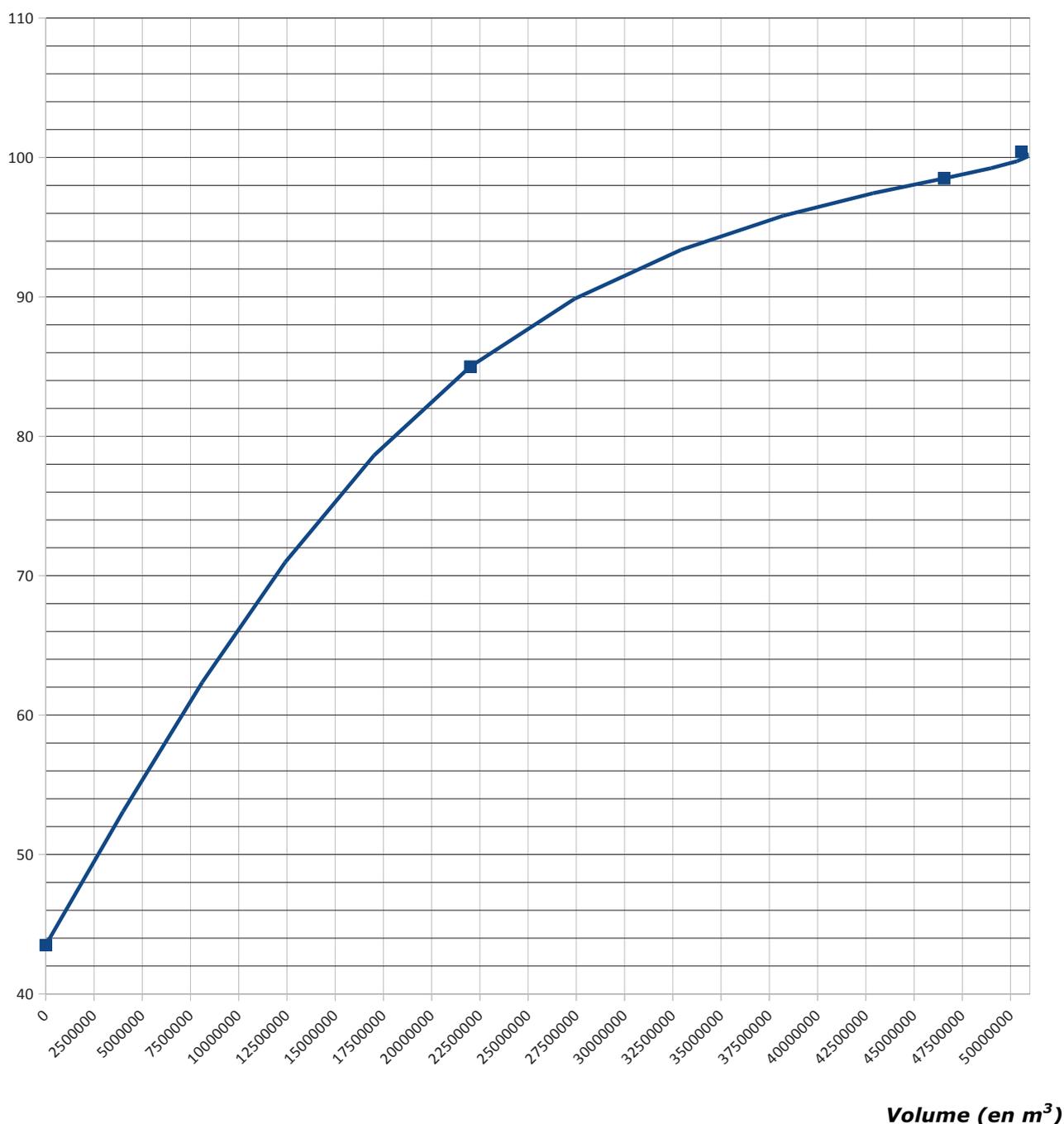
Cote de remplissage (en mètres)



Vers la mi-novembre 1959, alors que le niveau de l'eau est à environ +95,5m, des suintements apparaissent sur la rive droite de l'ouvrage. Du 19 novembre au 2 décembre, des pluies torrentielles s'abattent sans discontinuer sur tout le canton (à la station météorologique de Fréjus Aviation, 490 mm d'eau furent enregistrés en deux semaines, dont 128 mm pendant les dernières 24 heures). Le premier remplissage, phase critique de la vie d'un barrage, s'effectue sans aucun contrôle possible. Le lac atteint alors le niveau normal de +98,50m. Le désastre se produit le soir du 2 décembre 1959 quand l'eau du barrage atteignait pour la première fois l'altitude +100,12m.

DOCUMENT 15 : Cote en fonction du volume d'eau contenu dans la retenue du barrage.

Cote (en mètres)



DOCUMENT 16 : Les ouvrages régulateurs.

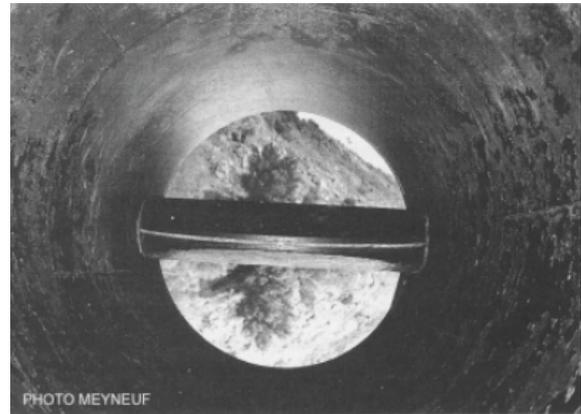
Les ouvrages régulateurs comprennent l'évacuateur de crues (déversoir) et la vidange.



Emplacement du déversoir

Le barrage est muni d'un déversoir formant l'évacuateur de crues dont le seuil déversant a été construit à la cote +100,40m.

Ce déversoir est capable d'un débit de $165\text{m}^3/\text{s}$ pour une hauteur d'eau de 1,60m au-dessus du seuil déversant et d'un débit de $250\text{m}^3/\text{s}$ pour une hauteur d'eau de 2,10m au-dessus du seuil déversant.



Photographie de la vanne de vidange

La vidange est constituée d'une conduite métallique de 1,5m de diamètre traversant le pied du barrage à la cote de +45,50m.

La vanne de vidange s'ouvre dès que le niveau de la retenue dépasse la cote +98,50m. La vidange est capable d'évacuer un débit de $35\text{m}^3/\text{s}$.

La vanne de vidange, qui aurait dû, pour la gestion des crues, être ouverte à la cote de retenue +98,5m (donc la veille du drame), n'a été ouverte qu'en fin d'après-midi le 2 décembre après réunion sur place d'une dizaine de responsables en vue de décider de la conduite à tenir pour gérer au mieux la crue prévisible avec le très prochain déversement sur le seuil de l'évacuateur.

9°) En exploitant les informations des documents 8, 14 et 15, calculez le débit de remplissage de la retenue entre février 1957 et février 1959.

10°) En exploitant les informations des documents 8, 14 et 15, calculez le débit de remplissage lors des dernières 48 heures avant la rupture du barrage.

11°) Expliquez en quoi les ouvrages régulateurs n'ont pas permis de lutter efficacement contre le remplissage rapide de la retenue lors des 48 dernières heures avant la rupture du barrage de Malpasset.

D – Rupture du barrage de Malpasset.

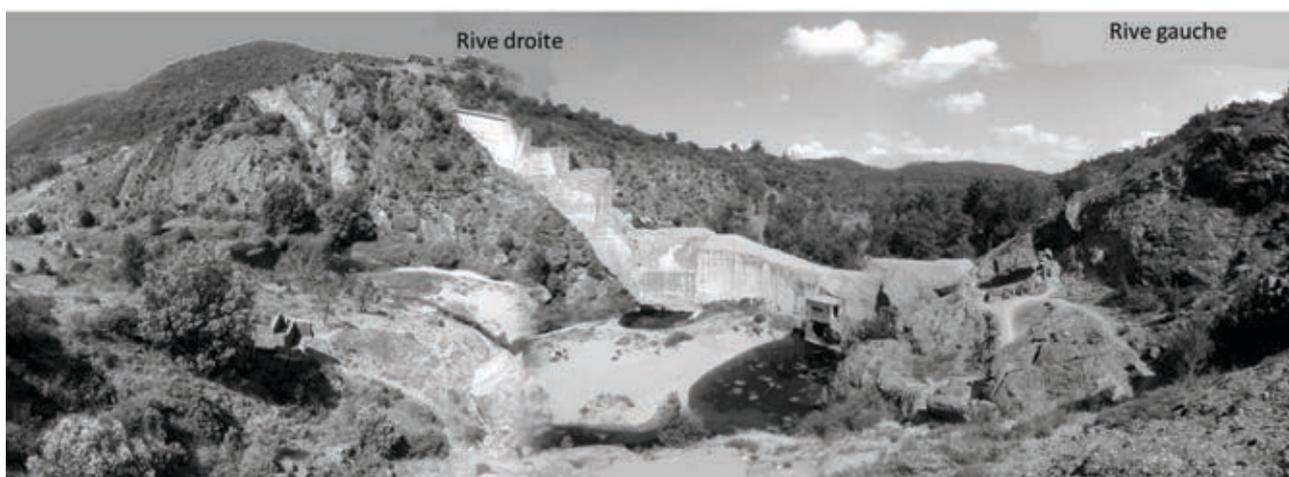
La qualité du béton du barrage de Malpasset, qui était régulièrement contrôlée par le laboratoire de l' Arsenal de Toulon, a été mise hors de cause rapidement par les analyses effectuées.

Comment expliquer alors la rupture ?

DOCUMENT 17 : Photographie du barrage de Malpasset avant la catastrophe.



DOCUMENT 18 : Photographie du barrage de Malpasset après la catastrophe.



L'observation du site montre qu'une partie de la voûte subsiste en rive droite et dans le lit du Reyran, ainsi qu'une partie de la culée en haut de la rive gauche ; en revanche un grand volume de terrain a disparu sur cette rive gauche.

DOCUMENT 19 : Analyses complémentaires de la roche sur laquelle le barrage a été construit.

Au sein des roches, les surfaces de discontinuités comme les plans de stratification, les plans de schistosité*, les failles, les diaclases etc. diminuent la résistance des roches.

Sous une apparence homogène à grande échelle, le gneiss du site de Malpasset s'avère plus hétérogène à l'échelle métrique. Par endroit il s'agit d'un gneiss oeilé massif, ailleurs, il s'agit d'une roche très riche en micas. Ce gneiss est parcouru de diaclases très serrées dont la direction échappe à toute statistique, et de véritables failles. Enfin, au niveau de la zone de rupture (en rive gauche) le gneiss est caractérisé par la présence d'une variété de micas à grains très fins susceptible d'augmenter la déformabilité de la roche.

* *Schistosité : plan d'aplatissement maximal de la roche. La schistosité peut être soulignée par l'alternance de lits de minéraux clairs et sombres, on parle alors de foliation.*

**Observation à l'œil nu
du gneiss oeilé**



Observation au microscope du gneiss oeilé

Observation en LPA



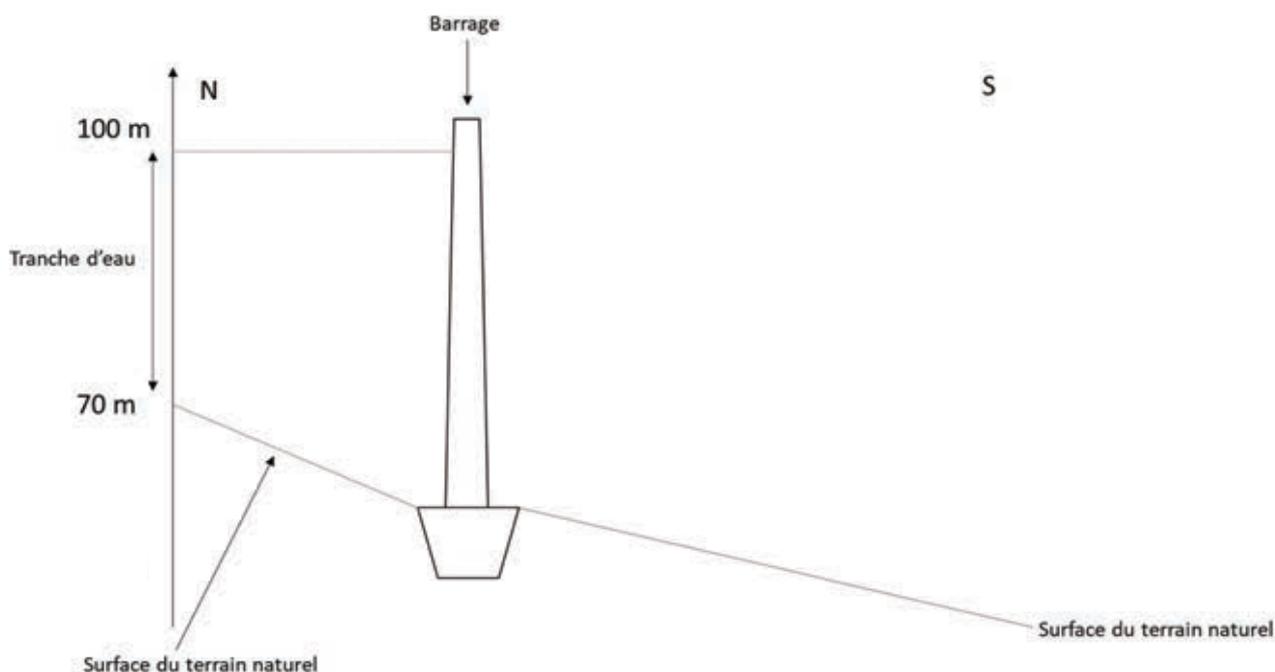
12°) À partir des différents documents, expliquez pourquoi la roche sur laquelle a été construit le barrage et qui apparaissait à priori résistante, est en réalité moins résistante que prévu.

DOCUMENT 20 : Les causes de la rupture.

Étant donné la nature de la roche sur laquelle le barrage a été construit ; il était prévu que l'eau puisse s'infiltrer dans la schistosité. Ces infiltrations, vu le pendage* de la schistosité (en moyenne 30 à 50° vers SW), ne devaient théoriquement prêter à aucune conséquence. Mais des études géologiques n'avaient pas détecté la présence d'une faille profonde (à 15 mètres de profondeur sous la fondation du barrage) présentant un pendage voisin de 40° vers le nord et recoupant donc la schistosité. L'eau arrivant par la schistosité a pu pénétrer le long du plan de faille, et la forte pression de l'eau a eu tendance à écarter les deux compartiments de part et d'autre du plan de faille. En parallèle, l'eau présente dans le substratum sous les fondations du barrage exerce des « sous-pressions », avec des lignes de force dirigées vers le haut et s'appliquant sur une grande surface (ici : surface = fondation du barrage et ensemble des gneiss répartis jusqu'à la faille). Ces « sous-pressions » ont pu atteindre des valeurs capables de soulever le compartiment supérieur, désolidarisé du comportement inférieur par la faille, qui s'est décollé sous la rive gauche du barrage, et tout le substratum à ce niveau du barrage a pivoté et est « parti » emportant avec lui la moitié de la muraille du barrage, qui s'est évidemment rompue.

* *Pendage* : le pendage permet de définir la géométrie d'orientation d'un plan. Une indication de pendage regroupe deux informations : direction et inclinaison du plan caractérisé.

DOCUMENT 21 : Coupe transversale du barrage de Malpasset (côté rive gauche).



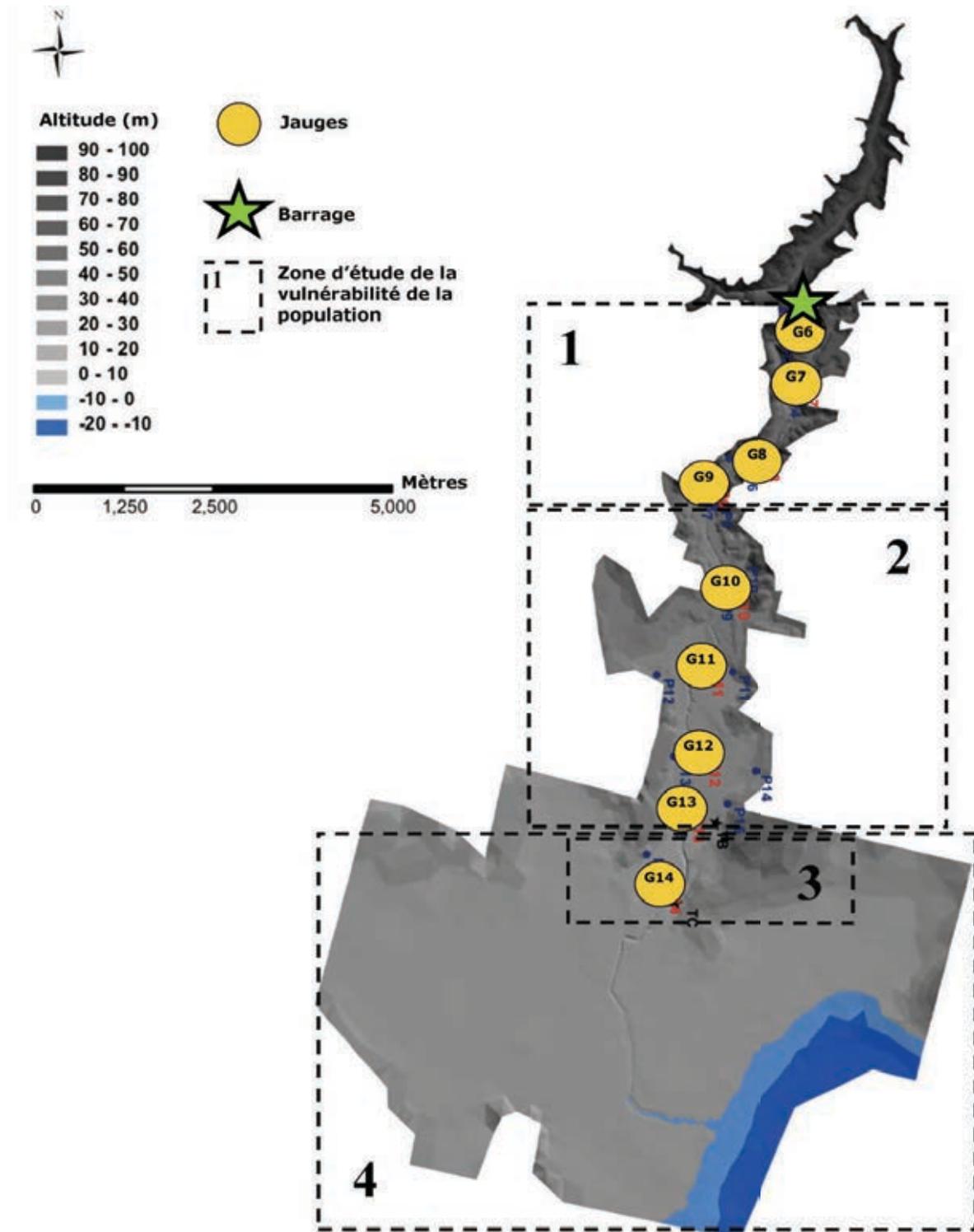
13°) Recopiez le document 21 sur votre copie et à l'aide des documents à votre disposition, annotez judicieusement le schéma de la coupe transversale du barrage de Malpasset de façon à faire ressortir les événements expliquant la rupture de ce barrage.

E – Onde de submersion et son impact sur la population

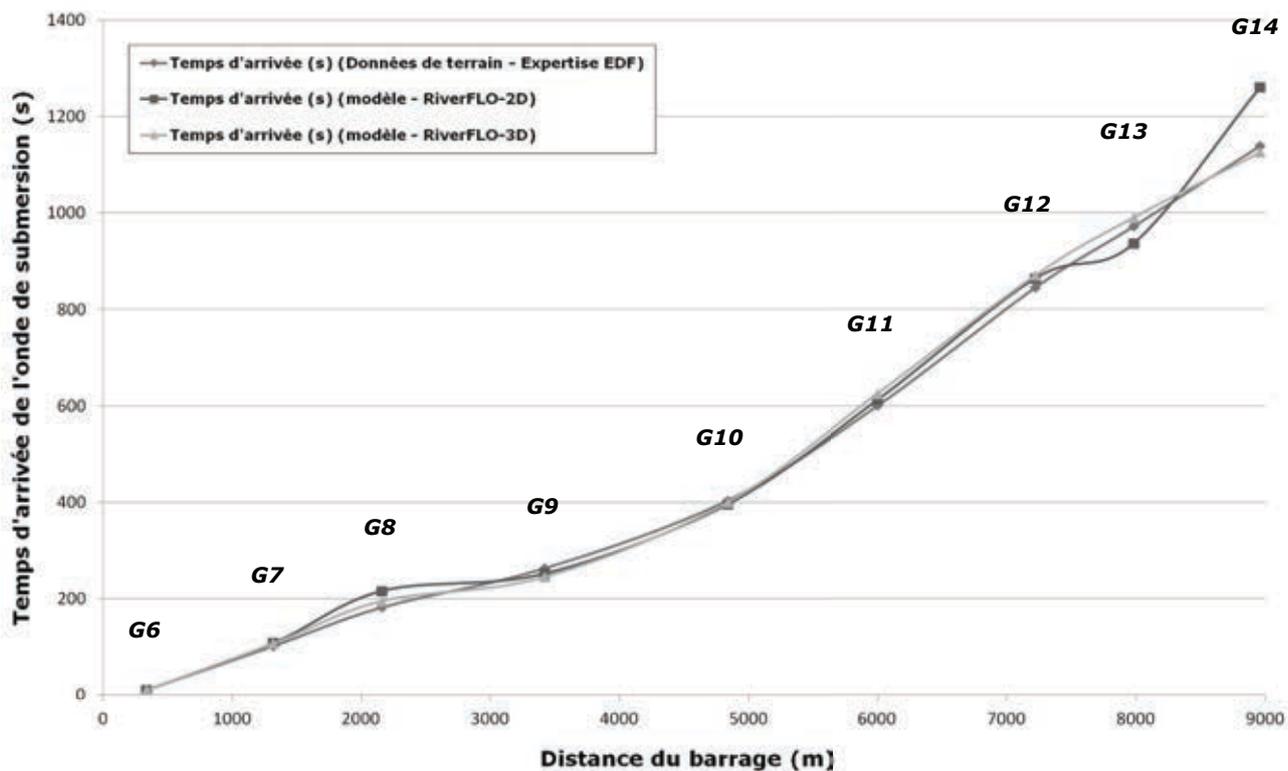
DOCUMENT 22 : La localisation du barrage et des jauges.

À la suite de la rupture du barrage, une onde de submersion* se propage dans la vallée. Des jauges ont permis de mesurer l'heure d'arrivée et la hauteur de l'onde de submersion.

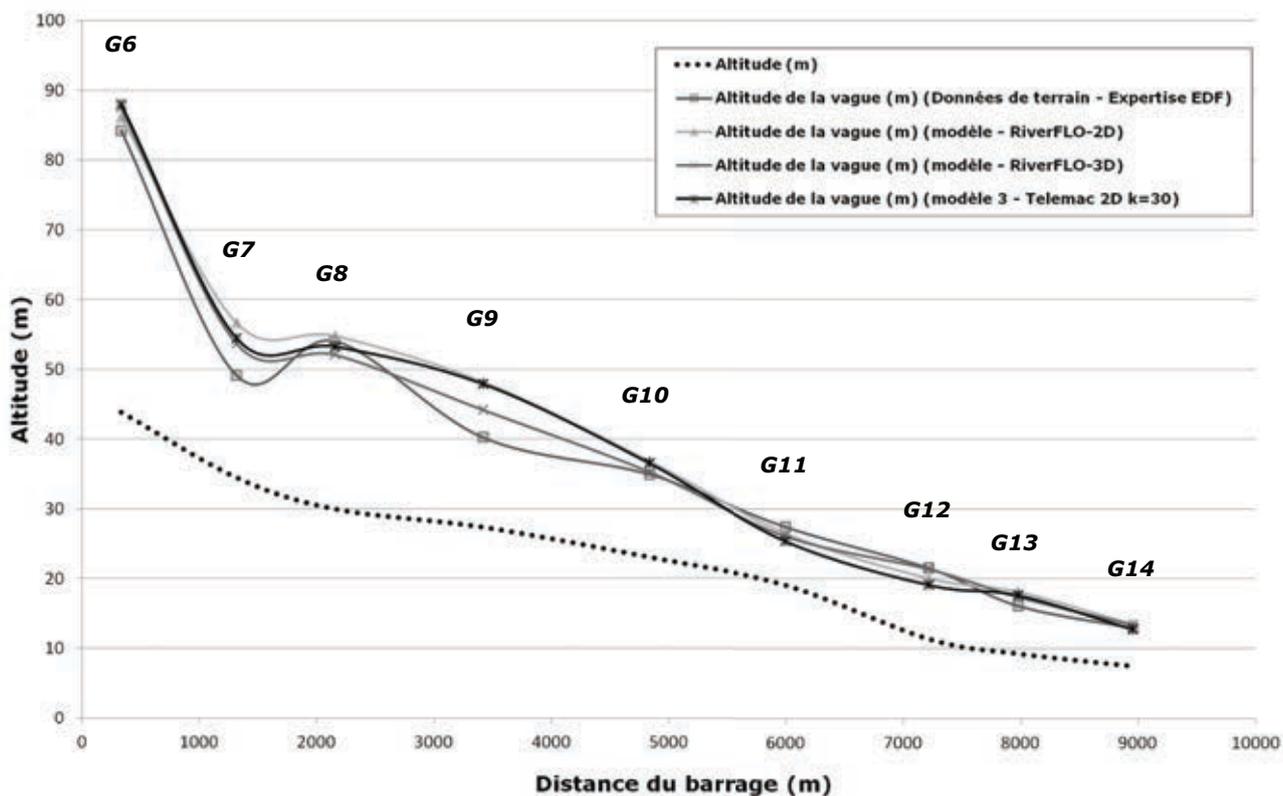
* Onde de submersion : élévation brutale du niveau de l'eau consécutive à la rupture du barrage.



DOCUMENT 23 : Temps d'arrivée de l'onde de submersion aux différentes jauges (selon différents modèles).



DOCUMENT 24 : Altitude des différentes jauges et hauteur maximum de l'onde de submersion (selon différents modèles).



14° Déterminez la vitesse (en km/h) de l'onde de submersion lors des 3 premières minutes après la rupture du barrage.

15° Déterminez la vitesse (en km/h) de l'onde de submersion lors des 16 minutes suivantes.

16° Proposez une explication à l'évolution de la vitesse de l'onde de submersion au cours du temps.

17° Déterminez la hauteur moyenne (en m) de l'onde de submersion lors des 3 premières minutes après la rupture du barrage.

18° Déterminez la hauteur moyenne (en m) de l'onde de submersion lors des 16 minutes suivantes.

19° Proposez une explication à l'évolution de la hauteur de l'onde de submersion au cours du temps.

DOCUMENT 25 : La localisation des victimes du drame.

La rupture du barrage de Malpasset a été à l'origine d'un nombre de victimes compris entre 423 et 500 (d'après les autorités). L'événement a provoqué environ 110 millions d'euros de dommages (155 immeubles ont été entièrement détruits, 3 200 hectares de cultures ont été endommagés).

Afin d'étudier la vulnérabilité de la population dans un événement comme celui-ci, quatre zones sont définies (les zones sont représentées dans le document 22) :

- La **zone 1** est située juste en aval du barrage, cette partie de la vallée du Reyran comprend notamment le hameau des mines de Bosson. La population exposée dans cette zone est estimée à 360 habitants.
- La **zone 2** située entre la zone 1 et le débouché de la vallée du Reyran dans le bassin aval de l'Argens, cette zone est caractérisée par un habitat dispersé et de nombreux bâtiments à usage agricole. La population exposée dans cette zone est estimée à 540 habitants.
- La **zone 3** correspond à l'ouest du centre ancien (centre-ville) de Fréjus. La population exposée dans cette zone est estimée à 1 020 habitants.
- La **zone 4** correspond à la basse vallée et à la plaine de l'Argens, qui comprend le quartier urbanisé de Villeneuve, de Fréjus-plage au sud de l'agglomération, la base aéronavale et enfin un large secteur correspondant à l'estuaire de l'Argens. La population exposée dans cette zone est estimée à 4 080 habitants.

Le Life Safety Model (LSM) est un processus de modélisation qui permet de d'estimer les victimes potentielles d'une inondation brutale et d'améliorer la gestion de tels événements (amélioration de l'évacuation des victimes notamment). Ce modèle utilise des modélisations hydrauliques du phénomène (en reconstruisant les paramètres physiques de l'onde de submersion) ainsi que des modélisations des comportements humains et de l'occupation du sol. Appliqué au drame de Malpasset, le modèle LSM a estimé 424 décès (144 dans la zone 1, 64 dans la zone 2, 195 dans la zone 3 et 21 dans la zone 4) et 151 immeubles détruits.

DOCUMENT 26 : La notion de risque.

Les catastrophes naturelles, qu'elles soient d'origine météorologique et climatique ou d'origine géologique, exposent les populations humaines à un risque.

$$\boxed{\text{RISQUE}} = \boxed{\text{ALÉA}} \times \boxed{\text{ENJEU}} \times \boxed{\text{VULNÉRABILITÉ}}$$

Pour caractériser le risque pour une population humaine dans une région, il est nécessaire de connaître :

- l'aléa : probabilité que la catastrophe se produise dans la région ;
- l'enjeu : populations humaines, biens matériels et activités économiques présents dans la région ;
- la vulnérabilité : fragilité des populations humaines, des biens matériels et des activités économiques dans la région.

Dans le cas d'une rupture de barrage, l'intensité physique de l'aléa dépend de la hauteur et de la vitesse de propagation de l'onde de submersion.

20°) Classez les zones 1 à 4, par intensité physique de l'aléa croissante en justifiant votre réponse.

21°) Comparez le classement des zones par intensité physique de l'aléa à la mortalité des différentes zones et proposez une explication aux différences constatées.

22°) Proposez quelques solutions pour diminuer le risque dans des régions où ce type de barrage est installé.