

Le barrage de Nova Kakhovka : une rupture accidentelle

Par Pierre Ranvier (pseudonyme), ingénieur de l'École Centrale Paris avec plus de 15 ans d'expériences dans les infrastructures hydrauliques

© La Vigie

10 juin 2023

Résumé :

Les analyse présentées et le scénario peuvent se résumer par la succession des observations et analyses suivantes :

- A partir de début 2023, aucune manœuvre de vanne n'est effectuée sur le barrage, et les portiques de manutention des vannes restent strictement immobiles ; en même temps, l'usine est totalement arrêtée et ne peut pas être redémarrée ; la cause de ces observations n'est pas connue, mais ce type d'exploitation est anormal, et est donc le signe d'une incapacité des exploitants du barrage à exploiter normalement leur ouvrage, et notamment à manœuvrer les vannes de l'évacuateur de crues,
- Suite à la période de crue (Avril), en absence de capacité d'évacuer l'eau, puisque l'usine est arrêtée et que les vannes ne sont pas manœuvrées, le niveau monte dans le réservoir, à une cote record (sans être -en soi- une menace directe pour le barrage),
- Cette augmentation du niveau d'eau entraîne un endommagement du fond de la rivière, dans la zone où l'eau s'écoule. Une fosse se crée et s'agrandit progressivement, sans que l'exploitant du barrage ne semble capable de stopper l'évolution. La fosse grandit donc,
- La veille de la catastrophe, une dalle qui portait le pont-route sur le barrage s'effondre dans la fosse, provoquant une panique chez les exploitants, qui voient venir la catastrophe, et tentent, en dernier recours, de faire transiter de l'eau par l'usine,
- Cette opération, avec une usine non raccordée sur le réseau, a pour conséquence la destruction de la partie supérieure du génie civil de l'usine,
- Parallèlement, soit par poursuite de l'approfondissement de la fosse, soit en conséquence de l'inondation de l'usine, une instabilité de l'évacuateur de crues conduit l'ensemble de certains plots de la structure à décoller de leur fondation, et à être embarqués par les flots.

On entend beaucoup d'experts en expertise se prononcer sur les causes et responsabilités de la rupture. Je présente ci-dessous quelques observations commentaires, ou précisions qui permettront - je l'espère- au lecteur d'éviter quelques raccourcis et pièges simplistes.

Je conclurai en proposant un scénario constitué d'un enchaînement logique d'événements, qui me semble de nature à expliquer l'ensemble des observations...

PARTIE 1 : COMMENT LE BARRAGE A-T-IL PU SE ROMPRE ?

Généralités sur la destruction des barrages

Pour simplifier (on négligera les barrages à contreforts et on assimilera les barrages mobiles à des barrages poids), il existe 3 types de barrages : barrage voûte, barrage poids, et barrage en remblais.

Nova kakhovka : une rupture accidentelle

Les barrages voûte sont, de loin, les plus fins, pour une même hauteur. On en déduirait volontiers qu'ils sont les plus faciles à « faire sauter ». Mais il faut s'entendre sur le sens du mot « fin » : Le barrage de Tignes, une « voute mince », a une épaisseur en pied de 43m (de béton). On ne détruit pas « facilement » des épaisseurs de plusieurs mètres de béton... De plus, dans le cas des barrages voûte, la pression d'eau tend à comprimer le béton du côté du réservoir, ce qui augmente sa résistance (c'est le principe du « béton précontraint »).

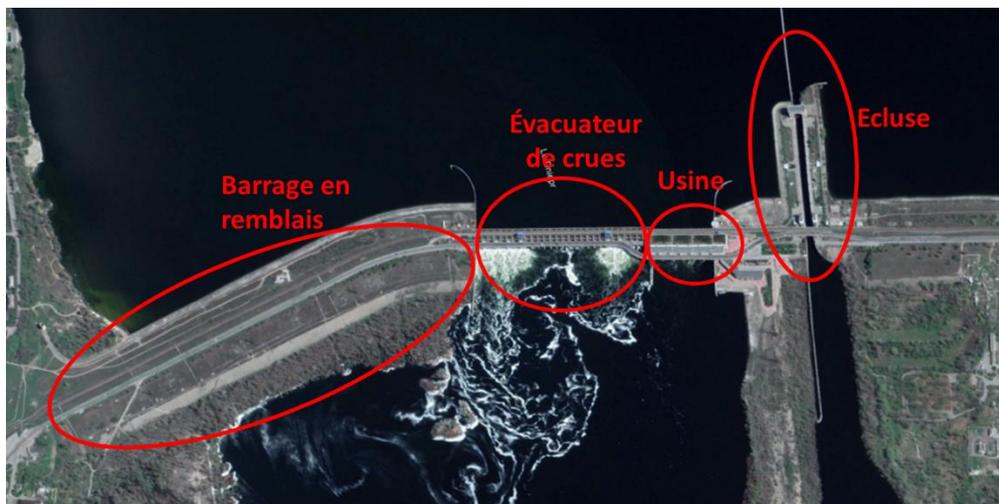
Les barrages poids (en béton ou maçonnerie) et les barrages en remblai sont beaucoup plus épais. S'il n'y avait pas d'eau, ils seraient quasi-impossibles à détruire à l'explosif. Mais, quand un barrage est plein, il y a de l'eau. Et, contrairement aux barrages voûte, l'eau a un rôle exclusivement déstabilisateur sur ces types de barrages. Si des fissures se créent dans un barrage poids et se remplissent d'eau, cela peut le déstabiliser. De même, si un cratère se crée dans la crête d'un barrage en remblai, laissant l'eau surverser, l'érosion finira rapidement par venir à bout du barrage.

Aussi, quand ils sont pleins, des barrages poids ou en remblais sont plus susceptibles d'être déstabilisés par des explosions que des barrages voûte. C'est la pression ou l'érosion de l'eau qui font l'essentiel du travail, pas l'explosif (un peu comme un petit bâton de dynamite peut mettre en mouvement d'énormes quantités de neige lors d'une avalanche).

Les Britanniques, pendant la Seconde Guerre Mondiale, ne s'y sont pas trompés : la « Royal Air Force » a ciblé des barrages poids et des barrages en remblais, mais aucun barrage voûte.

L'aménagement de Nova Kakhovka

L'aménagement de Nova Kakhovka se compose, de la rive gauche vers la rive droite : d'un barrage en remblais, d'un évacuateur de crues, plus ou moins assimilable à un barrage poids (en béton), d'une usine hydroélectrique, puis d'une écluse.



Il s'agit d'un aménagement à but multiple : irrigation et alimentation en eau des plaines du Sud de l'Ukraine et de la Crimée ; production hydroélectrique ; barrage de navigation, permettant à des navires de 3000 tonnes de remonter le Dniepr depuis la côte ; et, sans-doute, atténuation des crues.

On se trouve dans la partie aval du Dniepr, relativement proche de l'embouchure (à l'échelle du Dniepr). Le cours d'eau est très large car il y a très peu de dénivellée. Il s'agit de conditions favorables pour le dépôt de sédiments fins (les sédiments grossiers s'étant déposés plus en amont ; sauf

Nova kakhovka : une rupture accidentelle

discontinuité géologique, ce type de répartition des sédiments est la norme). On s'attend donc à retrouver une forte épaisseur d'alluvions fins et meubles.

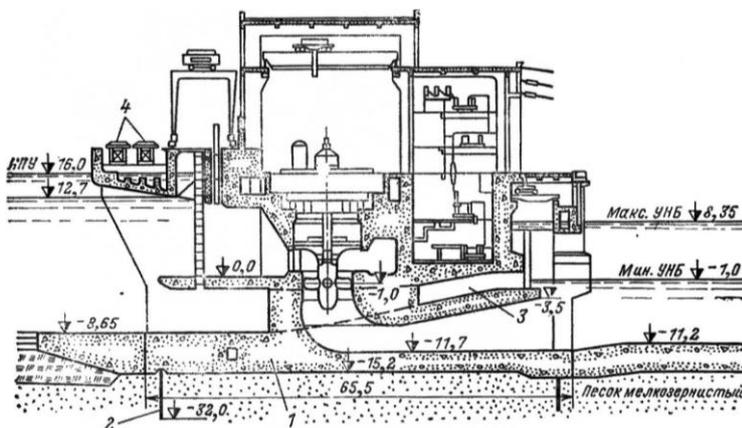
Cette hypothèse est validée par une photo d'archive du chantier :



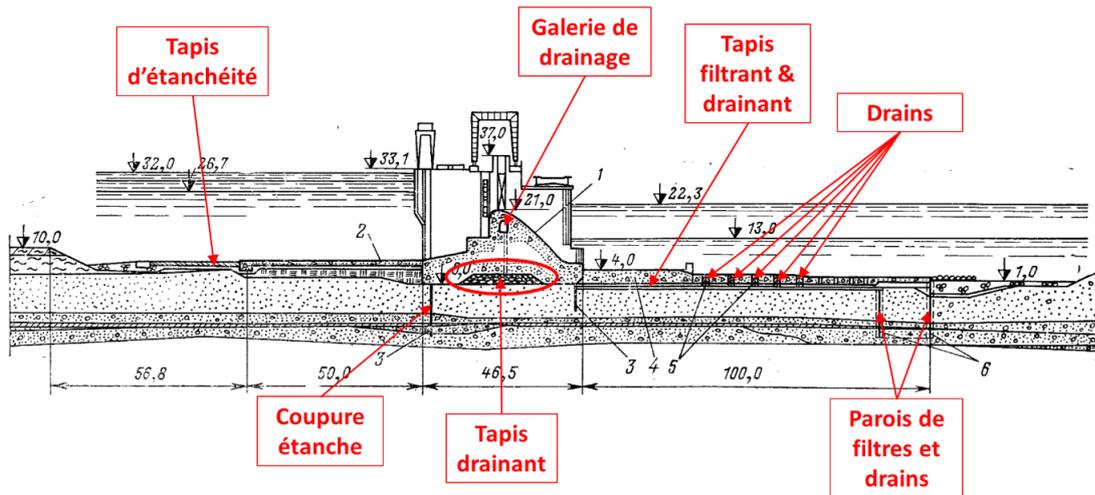
On y voit des terrains meubles, creusés par des engins mécanisés (donc pas de la roche). Les talus tiennent verticalement sur plusieurs mètres de hauteur, ce qui indique que le matériau présente une cohésion (les grains sont collés) et confirme donc qu'il s'agit de sols fins (si vous en doutez, tentez l'expérience de faire tenir plusieurs jours un talus vertical avec du sable). Le sol est néanmoins carrossable, alors même qu'il était sous eau, ce qui tend à exclure de l'argile. Comme on voit couler des voiles en béton, il s'agit probablement d'une photographie prise au niveau de l'usine, ou plus vraisemblablement de l'évacuateur de crues (on cherche à éviter ce type de fondation pour des usines).

On pourra donc supposer que la fondation du barrage, dans la zone de l'évacuateur de crues, est constituée de limons ou de sables fins limoneux. Ce barrage n'est pas fondé au rocher.

Toujours par une recherche de documents d'archive sur internet, voici deux coupes amont/aval que je pense être celles de l'ouvrage : une au niveau de l'usine, et une au niveau de l'évacuateur de crues.



Nova kakhovka : une rupture accidentelle



J'ai ajouté sur la coupe au niveau de l'évacuateur de crues des légendes, telles que je comprends le plan (n'étant pas russophone, devine plus que je ne traduis). Les plus observateurs noteront que les cotes altimétriques de la section de l'évacuateur de crue ne correspondent pas ; je tend néanmoins à penser qu'il s'agit du bon barrage, avec un 0 altimétrique qui a été décalé (de 10m pile ?).

La conception de l'ouvrage dans la zone évacuateur de crues dénote de la part des concepteurs de l'ouvrage une attention particulière apportée aux risques d'érosion de la fondation et de montée des pressions d'eau dans la fondation. Si la partie visible du barrage dans la zone « évacuateur de crues » mesure moins de 50m de large, l'ouvrage entier mesure environ 300 m de large, les 250 m restants étant consacrés à des dispositions en fondation pour maîtriser ces risques.

Il est important de comprendre que, si la pression de l'eau à l'amont du réservoir s'exerce sous le barrage (dans la zone que j'ai indiquée « tapis drainant »), celui-ci n'est plus stable : il glisse ou bascule vers l'aval. D'où les dispositifs visant à empêcher la venue d'eau depuis l'amont, et à dissiper les pressions à l'aval... et surtout à évacuer toute pression qui viendrait directement sous le barrage, au moyen du tapis drainant et de la galerie de drainage, qui communique avec le tapis drainant et impose le niveau de la pression sous le barrage (la galerie n'est pas noyée).

Si on remplissait la galerie de drainage d'eau et qu'on la mettait en pression, le barrage sauterait, exactement comme le fameux « tonneau de Pascal ».

On voit également une galerie de drainage au niveau de l'usine, dans la partie amont du radier. Mais il est probable que, cette structure étant nettement plus lourde, elle soit bien plus stable, et que les dispositifs de drainage et d'étanchéité y soient donc moins critiques.

A noter également : un petit passage sur « Google Street View » nous enseigne que l'évacuateur de crues comportait des joints de dilatation au milieu des piles, à raison d'une pile sur trois. Il y a tout lieu de penser que ce joint de dilatation est « toute hauteur » (qu'il traverse donc également le radier).



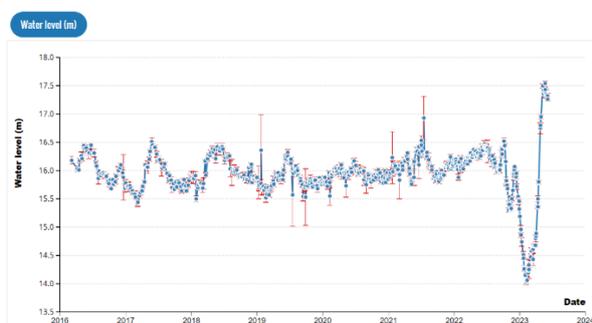
Nova kakhovka : une rupture accidentelle

Le barrage au cours des derniers mois

La rive droite est aux mains des Ukrainiens, depuis environ 6 mois ; la rive gauche est aux mains des Russes, depuis un peu plus d'un an. L'usine et l'évacuateur de crues étant en rive gauche, ils sont aux mains des Russes (sauf les 3 dernières passes, puisque les tabliers et poutres au niveau des 3 passes de rive droite de l'évacuateur ont sauté en novembre 2022). Ce sont donc en principe les Russes qui ont la maîtrise de la quantité d'eau relâchée (et donc du niveau du réservoir) ... à condition qu'ils aient la possibilité de manœuvrer les vannes et/ou d'opérer la centrale hydroélectrique.

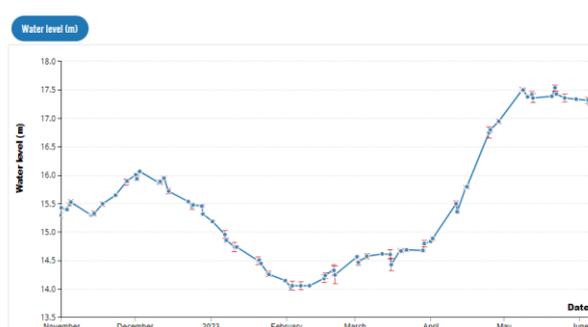
Le niveau dans la retenue a fortement augmenté au cours du mois d'Avril (qui correspond à la période de crue du Dniepr), atteignant des niveaux records depuis près de dix ans (mais restant, a priori, inférieurs aux PHE – Plus Hautes Eaux, pour lesquelles le barrage est conçu), après avoir atteint des niveaux particulièrement bas en janvier/février 2023. Il tend à se stabiliser et à légèrement baisser au cours du mois de mai.

Lake Kakhovka

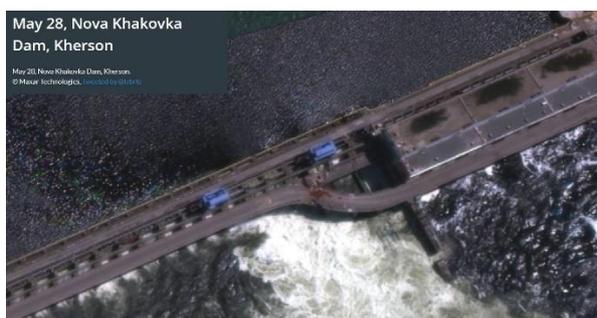


Lake Kakhovka

Download accessible by authentication



Voici deux photos prises, l'une la veille de la rupture, et l'autre 8 jours plus tôt.



Plusieurs éléments sont notables en observant et comparant ces photos :

- Le tablier du pont a disparu sur un tronçon de quelques dizaines de mètres, ainsi que, manifestement, les piles qui le portaient ; il ne s'agit donc pas d'une simple démolition du tablier par un bombardement ou par un minage. Les piles étant ancrées dans le radier, dans une zone où il est impossible de venir mettre quelque charge que ce soit (en raison des remous), il est probable que c'est l'ensemble du radier qui a disparu, avec les piles et le tablier,
- Les portiques de manutention (structures en bleu) qui servent (selon ma compréhension) à manœuvrer les vannes sont exactement à la même position à huit jours d'intervalle, alors qu'on attendrait de ce type de structures qu'elles soient très souvent déplacées,

Nova kakhovka : une rupture accidentelle

- On observe de légers écoulements au niveau de toutes les vannes restées fermées, compatibles avec un déversement d'eau au-dessus des vannes. Ce léger déversement semble plus faible le 5 juin que le 28 mai, ce qui est également compatible avec la très légère baisse de niveau du réservoir sur fin mai / début juin,
- On peut avoir l'impression d'une augmentation de débit entre les deux photos, mais il est possible que cette impression résulte essentiellement d'une différence d'éclairage ou d'angle de prise de vue.

Poussé par la curiosité, j'ai cherché d'autres photos plus anciennes. Jusqu'en novembre 2022 (compris), les portiques de manutention changent continuellement de place. En revanche (je n'ai pas trouvé de photographie en décembre ou janvier), les portiques étaient rigoureusement à la même position en février, mars, avril, mai et juin. De même que les vannes, dont aucune n'a été ouverte ou fermée sur cette période : les rejets d'eau se font exactement au même endroit.

Selon les informations circulant sur internet, l'usine serait, elle aussi, est totalement à l'arrêt depuis fin 2022. Cette information semble confirmée par l'absence de remous visibles sur les photos aériennes de l'usine en 2023 (alors que des remous étaient visibles par le passé).

Il résulte de ces observations que, selon toute vraisemblance :

- Aucune vanne n'ayant été manœuvrée et l'usine étant restée arrêtée depuis début 2023 approximativement, les débits relâchés sont quasiment constants,
- Lors de la crue du mois d'avril, faute d'augmenter la capacité d'évacuation des eaux, le niveau d'eau est monté dans le réservoir ; la crue a, en quelque sorte, été stockée dans le réservoir.

L'ensemble de ces informations forme donc un tout cohérent sur la manière dont a été exploité l'aménagement depuis début 2023 ; l'exploitation qui a été faite se résumant à... ne rien faire du tout !

Les informations dont on dispose sur l'accident :

Deux brèches se sont ouvertes : une dans l'usine, et une dans l'évacuateur de crues. Voici deux photos, datant probablement des premières heures après la rupture :

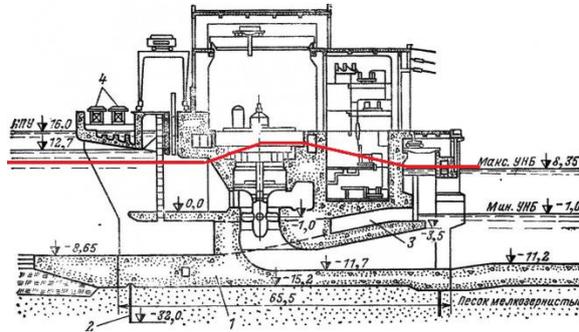
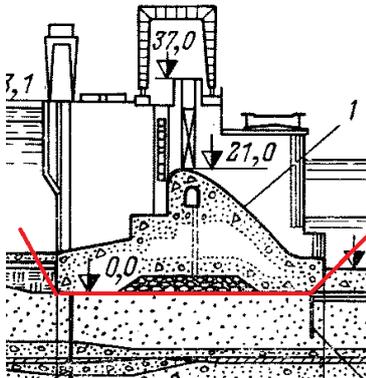


On voit que, au niveau de l'usine, la rupture n'affecte que la partie supérieure de l'infrastructure ; alors que, au niveau de la brèche dans l'évacuateur de crues, l'écoulement est manifestement très rapide, autrement dit avec une hauteur libre assez importante. Il est également notable qu'aucune des piles de l'évacuateur ne fait obstacle à l'écoulement.

S'il faut conjecturer la position approximative des zones de rupture, on peut émettre les hypothèses suivantes à la vue des photos (lignes rouges ci-dessous). Compte tenu du caractère extrêmement

Nova kakhovka : une rupture accidentelle

massif et rigide de la structure du radier dans la zone « évacuateur de crues », il est peu vraisemblable que la surface de rupture puisse se trouver à l'intérieur de la structure ; je suppose donc qu'elle se trouve en dessous :



Les photographies plus récentes ne montrent plus de traces des structures de l'usine, probablement en raison d'une remontée du niveau aval. Les contrastes de couleur entre les 2 brèches laissent clairement deviner la persistance d'une importante différence de profondeur entre les deux brèches. Peut-être l'absence de structures visibles au niveau de l'usine s'explique-t-il par des morceaux supplémentaires de l'usine qui se seraient cassés ; peut-être la ligne de rupture est-elle située un peu plus bas que sur le schéma ci-dessus ?



On observe d'ailleurs, sur cette photo, en rive droite de l'évacuateur de crues, que les poutres et le tablier du pont ont disparu sur les 3 dernières travées (comme déjà indiqué plus haut). Cette destruction remonte à novembre 2022, alors que les Russes abandonnaient la rive droite (sans doute une démolition pour empêcher le franchissement par les ukrainiens ?)

Quels mécanismes de rupture envisageables ?

Il semble clair que, au niveau de l'évacuateur de crues, il s'agit d'une instabilité d'ensemble, et, au niveau de l'usine, d'une rupture de la structure.

Les deux hypothèses permettant d'expliquer l'instabilité d'ensemble dans la zone « évacuateur de crues » sont :

Nova kakhovka : une rupture accidentelle

- La mise en communication du tapis drainant avec la retenue à l'amont (qui se trouvait à un niveau particulièrement élevé) ;
- et un phénomène d'érosion régressive depuis l'aval, entraînant une suppression de la butée, puis un glissement d'ensemble de l'évacuateur de crues.

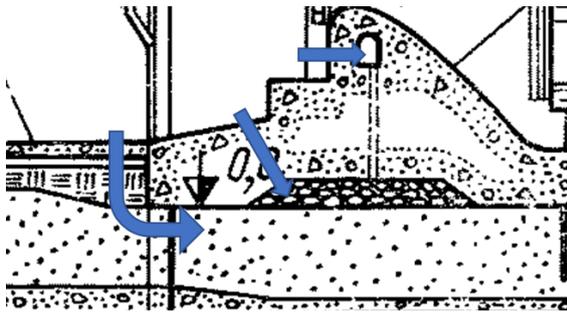
En synthèse, la rupture du barrage de Nova-Khakovkha en juin 2023 comporte 3 éléments distincts :

- Rupture du pont-route à l'aval de l'évacuateur, en rive gauche de celui-ci, à priori dans la journée du 5 juin,
- Destruction des structures de génie civil de l'usine, dans la nuit du 5 au 6 juin,
- Instabilité globale de certains plots de l'évacuateur de crues, la structure ayant été soulevée au-dessus de la fondation.

Si on suppose que ces 3 événements ne sont pas totalement indépendants, , deux mécanismes émergent :

Mécanisme n°1 : Rupture par montée des sous-pressions due à la rupture de l'usine

Si on « creuse » l'hypothèse de basculement ou de glissement par montée des sous-pressions. Par où l'eau est-elle rentrée sous la fondation de l'évacuateur de crues ? Le chemin le plus direct, par la galerie de drainage (petite flèche en haut), suppose tout de même de traverser 3m d'épaisseur de béton horizontalement, et sous eau... Difficile à imaginer, même en zone de guerre.



En revanche, si on suppose que la galerie de drainage du barrage débouche dans l'usine, le scénario suivant semble tout à fait correspondre aux observations :

- Un événement inconnu occasionne la destruction des superstructures de l'usine, et sa submersion,
- Cette submersion entraîne le remplissage de la galerie de drainage de l'évacuateur de crues,
- Ce remplissage, suivi d'une mise en charge de la galerie, entraîne la mise en charge du tapis drainant ; cet effet, cumulé avec un niveau amont particulièrement élevé, entraîne le soulèvement du barrage, qui « saute comme un bouchon ».

Ce scénario a pour principal mérite d'expliquer l'apparition quasi simultanée de deux brèches à deux endroits distincts, dont l'une ne voit que la partie supérieure de son génie civil « scalpée », alors que l'autre correspond à un effacement total du barrage.

Ce mécanisme n'explique pas, à lui seul, la rupture du pont intervenu quelques heures/jours plus tôt. Il n'explique pas non plus comment l'usine a été détruite.

On peut noter qu'une usine hydroélectrique russe (Saïano-Chouchensk, 2009), a connu un grave accident, dans lequel l'usine a été totalement inondée. Pour autant, la situation n'est pas

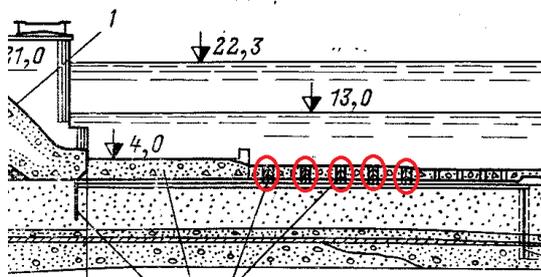
Nova kakhovka : une rupture accidentelle

transposable : d'une part, les mécanismes de l'accident sont difficilement imaginables dans le cas présent. Et surtout, la submersion s'était faite sans destruction de la partie supérieure du génie civil.

Mécanisme n°2 : Erosion régressive à l'aval de la zone de déversement

On postule ici l'existence d'un phénomène d'érosion régressive, c'est-à-dire d'érosion de la fondation à l'aval du barrage.

La cause pourrait en être que les remous créés par l'évacuateur de crues entraîneraient un phénomène de « lavage » des matériaux situés dans les puits de décharge entourés en rouge ci-dessous. Une fois ces matériaux lavés et peut être emportés, les remous auraient pu se propager dans les tapis de filtre et drains et progressivement atteindre le sol de fondation. Ce sol étant un sol fin, il est facilement emporté par de forts remous et des trous se creusent sous le radier. Une fois le trou creusé, il s'agrandit vers l'amont (phénomène d'érosion régressive), entraînant dans un premier temps le basculement du pont, puis celui du barrage.



Ce mécanisme a le mérite d'expliquer par une cause unique l'effacement du pont-route, puis du barrage, à quelques heures d'intervalle.

Il n'explique pas comment l'usine a été détruite, et encore moins pourquoi la destruction de l'usine intervient concomitamment avec celle de l'évacuateur de crues.

PARTIE 2 : MON INTIME CONVICTION

On entend ou lit souvent que la destruction a été délibérément réalisée par les Russes dans le but **d'inonder les terres pour rendre l'offensive ukrainienne impossible. Cette hypothèse ne me semble pas crédible, pour plusieurs raisons :**

- ⇒ Si, réellement les Russes étaient pleinement maîtres de l'ouvrage et capables de l'exploiter selon leur volonté, vu que la capacité de l'évacuateur de crues toutes vannes ouvertes est de plus de 20 000 m³/s (environ 8 fois la crue de 1910 à Paris), il était largement possible de créer une crue noyant l'aval sans démolir l'ouvrage (ce qui aurait même permis, en le remplissant de pouvoir recommencer une seconde « chasse » ultérieurement),
- ⇒ Si l'objectif est de bloquer un franchissement de vive force du Dniepr par l'armée ukrainienne, on peut s'interroger sur la temporalité de l'opération : Pourquoi ne pas avoir attendu que les Ukrainiens établissent une tête de pont et un pont flottant, pour effectuer une grosse chasse, et renvoyer au large toutes les embarcations ukrainiennes, tout en coupant la tête de pont ukrainienne de ses bases et en la noyant ou en l'embourbant ? Une rupture survenue quelques jours après un tel franchissement aurait clairement un sens tactique,

- ⇒ Si mon hypothèse d'une incapacité des exploitants à opérer les vannes est fausse et que les Russes auraient volontairement décidé d'augmenter le niveau dans le réservoir, on peut même supposer que c'est précisément dans le but de pouvoir effectuer une telle « chasse » que le niveau a été remonté dans le réservoir !
- ⇒ Enfin, après quelques mois, une fois l'eau écoulee et les rives ressuyées, la situation redeviendra identique à la situation précédant l'accident, mais sans l'« épée de Damoclès » du lâcher d'eau sur l'opération de franchissement ; de ce point de vue, on pourrait même être tenté de dire qu'une opération de franchissement du Dniepr était matériellement impossible en raison du risque que faisait courir ce barrage et est maintenant rendue possible par la destruction du barrage,
- ⇒ En outre, il n'est pas impossible que se trouvent, à l'amont du barrage, des zones qui pourraient être propices à un franchissement maintenant qu'il n'y a plus de réservoir. D'une certaine manière, que ce soit à l'amont ou à l'aval du barrage, sa destruction est de nature, dans quelques mois, à ouvrir des possibilités à l'armée ukrainienne.

L'ensemble de ces raisonnements me conduisent à exclure que les Russes aient pu trouver un intérêt tactique ou stratégique à faire exploser le barrage dans la nuit du 5 au 6 juin. En outre, l'interruption de l'alimentation en eau de la Crimée et des plaines du Sud, tenues par les Russes, renforce le caractère diamétralement opposé à l'intérêt de la Russie de la destruction de ce barrage.

Du point de vue ukrainien, cette rupture entraîne un gel de cette partie du front à court terme, mais potentiellement un réel avantage dans la conduite des opérations militaires à moyen/long terme. Toutefois, les impacts dramatiques de la destruction de ce barrage sur l'économie ukrainienne, après la fin de la guerre, seront tels (arrêt de la circulation des navires sur le Dniepr, arrêt de la centrale d'Energodar, arrêt de l'irrigation dans le Sud de l'Ukraine, etc.) qu'il me semble inimaginable qu'ait pu germer l'idée de détruire ce barrage chez les dirigeants ukrainiens. Et, quand bien même ils auraient souhaité détruire le barrage, je doute énormément qu'ils auraient pu imaginer réussir à le détruire en larguant des obus ou des bombes sur l'usine.

Il me semble donc évident qu'aucun des deux camps n'a jamais eu l'intention de détruire ce barrage.

PARTIE 3 : MON SCENARIO

En essayant de replacer toutes les briques disponibles, j'en suis arrivé à construire un scénario des événements qui me semble correspondre à toutes les observations. Il ne s'agit que d'une simple supputation et je ne prétends pas détenir de certitudes sur ce qui s'est passé :

- Novembre 2022 : les Russes évacuent la rive droite du Dniepr et font tomber la route sur les trois dernières passes de l'évacuateur de crues (en rive droite). Les vannes de ces passes ne sont plus manœuvrables mais toutes les autres restent, si bien qu'il est possible de faire passer des crues, même relativement exceptionnelles, en restant dans le domaine de fonctionnement normal de l'ouvrage,
- A partir d'une date inconnue, comprise entre décembre 2022 et février 2023, pour une raison que j'ignore, plus aucune manœuvre n'est faite sur l'évacuateur de crues et l'usine hydroélectrique est arrêtée. Les vannes les plus proches de l'usine sont ouvertes (ou détruites) ; elles sont le seul endroit par lequel le barrage peut laisser l'eau s'écouler. Toutes

les autres vannes sont fermées ; les portiques de manutention restent immobiles. J'ignore les causes de cette immobilité :

- Impossibilité de faire fonctionner ces portiques et l'usine en raison d'une coupure complète d'alimentation électrique, avec des groupes de secours qui auraient été détruits ? Il est étrange qu'il ne soit pas possible de rétablir une alimentation en plusieurs mois...
 - Crainte de « se faire tirer dessus » par des soldats situés sur l'autre rive ?
 - Difficultés administratives / relationnelles entre les exploitants (ukrainiens) et les soldats (russes), les soldats les empêchant de manœuvrer pour des raisons qui m'échappent ?
- A partir de cette date (inconnue), plus rien ne bouge. Arrive, au mois d'avril, la crue annuelle. En absence d'évacuation d'eau par le barrage ou par de nouvelles vannes, la crue est stockée, et le réservoir se remplit. Le niveau monte, jusqu'à un point où l'eau déverse au-dessus des vannes,
- Au niveau des passes d'évacuation qui restent ouvertes, la situation se complique pendant le mois de mai : cela fait presque six mois qu'elles sont ouvertes en permanence, alors qu'elles ne sont pas censées fonctionner en continu. De plus, la charge d'eau à l'amont est plus importante que prévu, augmentant la quantité d'énergie à dissiper et le niveau aval est simultanément particulièrement bas (ce qui n'est pas censé être le cas quand le niveau d'eau est très haut à l'amont). Qui plus est, peut-être les vannes sont-elles « cassées » et pas relevées, si bien que l'écoulement ne se fait pas comme prévu. Il résulte de ces éléments que le ressaut hydraulique, permettant la dissipation d'énergie, se décale vers l'aval, et ne reste pas confiné au-dessus de l'épaisse dalle de béton sur laquelle il était censé rester. Le ressaut s'allonge, au point de se retrouver au-dessus des puits de décharge, qui commencent à s'endommager, voire à se vider de leurs matériaux,
- Dès lors, le ressaut et ses turbulences peuvent commencer à « attaquer » les couches de filtre et drains... puis arriver jusqu'à la fondation, sous les puits de décharge. La fondation s'érode vite. En principe, à ce stade, les données de piézométrie qui sont retransmises à l'exploitant commencent à l'alerter, et celui-ci prend conscience de la nécessité de fermer ces vannes et d'abaisser le plan d'eau,
- L'exploitant tente d'ouvrir d'autres vannes, mais sans succès (ou peut-être avec un succès limité, car la comparaison des photographies de fin avril et de fin mai peut laisser penser à une augmentation légère des débits) ; en principe, à ce moment, si l'exploitant ne réussit pas à ouvrir les vannes, c'est la crise ; il faut commencer à envisager des solutions radicales, comme de plastiquer les vannes, etc. pour faire rapidement baisser le niveau à l'amont. Manifestement, pour une raison ou pour une autre, rien n'a pas été fait. Plusieurs hypothèses :
- Délais trop importants pour obtenir l'approbation en haut lieu d'une démolition contrôlée des vannes ?
 - Refus des exploitants ukrainiens de prendre le risque juridique de saboter leur ouvrage, de peur que la justice russe n'en fasse des boucs émissaires pour justifier la destruction des vannes du barrage ?
 - Refus de l'armée de prêter main forte ou de fournir les explosifs nécessaires ?
 - Risque de se faire tirer dessus par les troupes de l'autre côté, qui n'ont pas compris l'urgence de la situation (ou qui croient à un coup de bluff destiné à positionner des charges qui permettraient, le moment venu, de noyer un franchissement ukrainien) ?
 - Etc.

Nova kakhovka : une rupture accidentelle

- En absence d'action urgente et énergique, la fondation s'érode de plus en plus et la fosse d'érosion remonte vers l'amont. La partie aval du radier, qui supporte le pont route, tombe dans la fosse, avec le pont, et est emportée par les flots,
- A ce moment-là, tout le monde comprend que la fosse d'érosion est presque arrivée au pied du barrage et c'est la panique chez les exploitants. Dans l'impossibilité d'ouvrir quelque vanne que ce soit, ils vont tenter le truc à ne jamais faire : pour évacuer de l'eau vers l'aval, ouvrir les directrices du groupe hydroélectrique alors que l'alternateur n'est pas enclenché sur le réseau. La turbine part à l'emballement ; sa vitesse devient incontrôlable et l'usine entière vibre à un point difficilement imaginable (cela pourrait-il avoir un rapport avec des secousses sismiques enregistrées en Roumanie, qui auraient duré 30/40 minutes, au moment de la rupture ?),
- Peu après, sous l'effet conjugué de la pression d'eau dans la bêche spirale et des vibrations, la partie supérieure de l'usine est soulevée et détruite. Les infrastructures basses de l'usine sont entièrement inondées par l'amont,
- Là, deux hypothèses sont possibles :
 - o L'inondation de l'usine provoque le remplissage de la galerie de drainage, puis le soulèvement du barrage, ce qui explique que les deux ruptures soient presque synchronisées,
 - o Soit l'érosion régressive se poursuit et le barrage tombe dans la fosse d'érosion, rendant le sacrifice de l'usine totalement inutile ; la synchronicité des deux ruptures relève alors de la coïncidence.

Ce scénario, qui ne fait appel à aucune volonté de qui que ce soit de démolir l'ouvrage, permet d'expliquer l'ensemble des observations dont j'ai eu connaissance jusqu'à ce jour (y compris l'enregistrement sismique d'une durée de plus de 30 minutes, qui ne correspond absolument pas à une explosion).

J'espère que cette modeste contribution permettra de fournir aux experts et enquêteurs quelques pistes à explorer. En particulier, j'attends que l'on trouve les premières traces des structures qui ont été emportées à l'aval, et qui devraient pouvoir confirmer que, dans la zone de l'évacuateur de crue, ce sont bien des blocs entiers qui ont glissé ou se sont renversés.

ANNEXE

Voici ci-dessous une liste de commentaires, accusations, ou simplifications lues ou entendues, sur lesquelles je souhaite apporter un commentaire :

« Les cassures sont nettes ; c'est la preuve d'un travail d'artificier ».

- ⇒ Les « cassures » sont intervenues au niveau des joints de dilatation ; autrement dit, il y a des blocs de structure qui ne sont pas liés mécaniquement, qui se sont simplement déplacés les uns par rapport aux autres.

« Il y a une volonté d'attaquer le réseau électrique ukrainien »

Nova kakhovka : une rupture accidentelle

- ⇒ Outre que l'usine était à l'arrêt, si elle avait été raccordée, ça aurait été à la zone sous contrôle russe. De plus, il est plus simple de déclencher les interrupteurs du poste électrique, pour un résultat identique...

« Ça empêchera les Ukrainiens de relancer la production de la centrale d'Energodar quand ils l'auront récupérée »

- ⇒ Il est effectivement vrai que la centrale d'Energodar n'est probablement pas prête de produire de nouveau de l'électricité. Mais je ne suis pas certain qu'il soit dans l'intention des Russes de restituer la centrale aux Ukrainiens. Dans ce cadre, si les Ukrainiens ne récupèrent pas la centrale, ce sont les Russes qui seront empêchés de produire. Autrement dit, tant que la guerre n'est pas finie, difficile de savoir qui sera -in fine- pénalisé par l'absence de production de cette centrale.

« L'armée ukrainienne est mobilisée pour secourir les civils, ce qui les empêche de se porter vers la grande offensive ».

- ⇒ Les impacts sur les civils sont situés en très large partie sur la rive tenue par les Russes ; les soldats russes seront donc, au moins autant que leurs homologues ukrainiens, occupés par les secours. Je ne dispose pas de chiffres fiables sur les populations affectées sur chaque rive, mais il est certain que, tant du point de vue de la superficie que du nombre de localités, les impacts sur la rive gauche sont considérablement plus importants que pour la rive droite.

⇒

« Les Russes avaient miné le pont, et ce sont simplement les mines qui ont sauté » ; « le barrage était déjà endommagé, pour preuve, il n'y avait plus de continuité du pont ».

- ⇒ On comprend l'intérêt pour les Russes de mettre des mines antichars sur le pont : empêcher les Ukrainiens de les attaquer en passant sur le pont, tout simplement...
- ⇒ Mais il faut réaliser que sur un barrage, le tablier du pont n'a habituellement aucune utilité structurelle (à part apporter un peu de poids). Il a une utilité du point de vue de la sûreté s'il permet de faire passer les câbles et flexibles pour faire manœuvrer les vannes. Pour illustrer, c'est un peu comme si on disait : "les garde-corps du pont ont été arrachés, est ce que ça peut expliquer pourquoi le pont s'est renversé quelques mois plus tard ?".
- ⇒ A la rigueur, si un gros stock de mines anti char avait été temporairement entreposé dans l'usine et avait explosé, oui, cela pourrait (et encore) fournir un début d'explication...