



**AMBASSADE
DE FRANCE
AU LIBAN**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

L'Ambassadrice

N°2022 336268

Beyrouth, le 25 juillet 2022

Monsieur le Ministre,

Votre courrier sollicitant une nouvelle fois une expertise française sur les silos du port a retenu toute mon attention. Comme vous le savez, un expert français est intervenu dès 2020 sur place, à la demande de votre pays, afin de fournir des recommandations sur les modalités de traitement des silos dévastés sur le port à la suite de la double explosion du 4 août 2020. Dans le rapport préparé à cette occasion et remis aux autorités libanaises il y a déjà plusieurs mois, les risques d'inflammation spontanée des grains restants s'ils n'étaient pas traités, avaient été relevés.

Au regard des derniers développements dans les silos et à la suite de votre demande en date du 15 juillet 2022, cet expert a été sollicité, une nouvelle fois, pour qu'il puisse mettre à jour ses recommandations. A l'appui des informations qui lui ont été transmises, il vient d'établir le rapport complémentaire joint au présent courrier, qui présente sur un plan technique les avantages et les inconvénients des différentes actions que les autorités libanaises pourraient souhaiter prendre.

Votre attention est appelée sur le fait que certains modes opératoires peuvent comporter des risques pour les personnels qui interviendraient. Une attention toute particulière aux questions liées à la stabilité des silos mérite d'être portée, comme cela a déjà été conseillé à plusieurs reprises aux autorités libanaises.

Une copie de ce rapport est également transmise au ministre de l'Economie, ainsi qu'au ministre des Transports et des travaux publics.

En souhaitant que ces éléments pourront utilement éclairer la prise de décision des autorités libanaises, je vous prie d'agréer, Monsieur le ministre, mes sincères salutations.

Anne GRILLO

Son Excellence Monsieur Bassam Mawlawi
Ministre de l'Intérieur et des Municipalités

1) Contexte :

Le 4 août 2020, une très forte détonation se produit sur le port de Beyrouth entraînant la destruction des silos de grains se situant à proximité.

Le 07/07/2022, les autorités libanaises, nous informent que des fumeroles se dégagent des gravats, mélange de grains et de blocs béton, se situant aux pieds des cellules éventrées côté du cratère.

Le 11/07/2022, la situation se dégrade avec l'apparition de flammes et d'un dégagement de fumée sur le port.

2) Historique :

En septembre 2020, le Gouvernement Libanais a demandé une assistance auprès des autorités Françaises pour les aider à sécuriser les silos.

Une mission du 20 au 26 septembre 2020, ayant pour objectif « l'analyse du risque incendie/ explosion concernant les silos portuaires et trouver la méthode pour sécuriser ceux-ci » a été réalisée. A l'issue, un mode opératoire pour la sécurisation des silos a été rédigé et transmis aux autorités Libanaises.

Le 04/11/2020, une note concernant la méthode de stockage en sécurité des grains dans l'attente d'une solution de traitement sur le port est également partagée.

A la suite d'un début d'auto-échauffement des grains, côté cratère, le 25/11/2020, un mode opératoire de déstockage est fourni.

Enfin le 30/11/2020, une note opérationnelle sur les grandes problématiques concernant les feux de biomasse est diffusée.

L'ensemble de ces documents ont été transmis aux autorités Libanaises via le service économique de l'ambassade de France.

3) Description de l'état des silos :

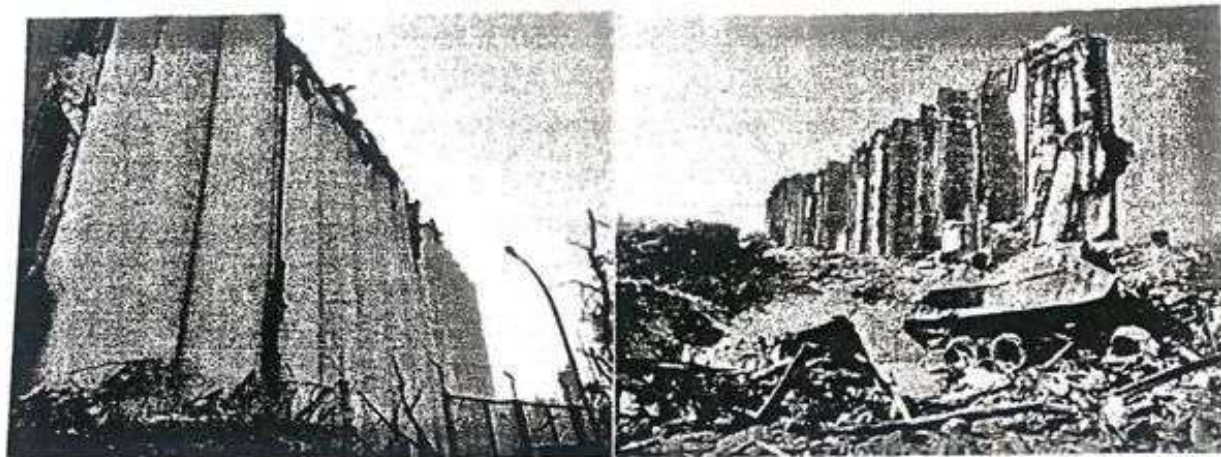
Structurellement, les silos se sont inclinés jusqu'à 30 cm par rapport à leur base. Les signes géométriques montrent que la fondation s'est également déplacée ("cisaillement") dans une direction convergente avec celle de l'explosion. Techniquement, cela indique des dommages permanents et considérables par rapport à l'ensemble de la structure, ce qui rend impossible toute opération de reconstruction des silos.

Depuis l'explosion, les silos sont revenus partiellement à leur position initiale. Toutefois, des signes de mouvement réguliers sont enregistrés sur une partie de l'ouvrage indiquant que la structure continue d'évoluer.

Des morceaux de béton et de métal restent suspendus en surplomb et peuvent tomber à tout moment. Avec les amplitudes de température (jour-nuit), et en tenant compte du risque de chute de débris, la zone peut être qualifiée « d'active ».

Les silos sont par nature des structures en forme de coquille. Ils perdent leur consistance dès que leur intégrité se fragilise. Le toit a été expulsé entièrement à cause de l'explosion, s'est brisé et reste suspendu en pseudo-équilibre.

Selon des calculs de risque d'effondrement des silos à cause de « l'effet zipper », il semble que le risque de pliage (et d'effondrement par cet effet) soit extrêmement faible. Les éléments de mur ou de dalles faiblement suspendus pourraient néanmoins tomber et représentent un risque (relativement maîtrisable) pendant les opérations de démolition.



Les silos de Beyrouth après l'explosion du 4 août

4) Description de l'état des grains et observation des risques :

Les silos contenaient environ 45 000 tonnes de céréales. A la suite à l'explosion, une partie des grains s'est retrouvée aux pieds des silos et dans l'espace proche.

Différentes actions ont été menées :

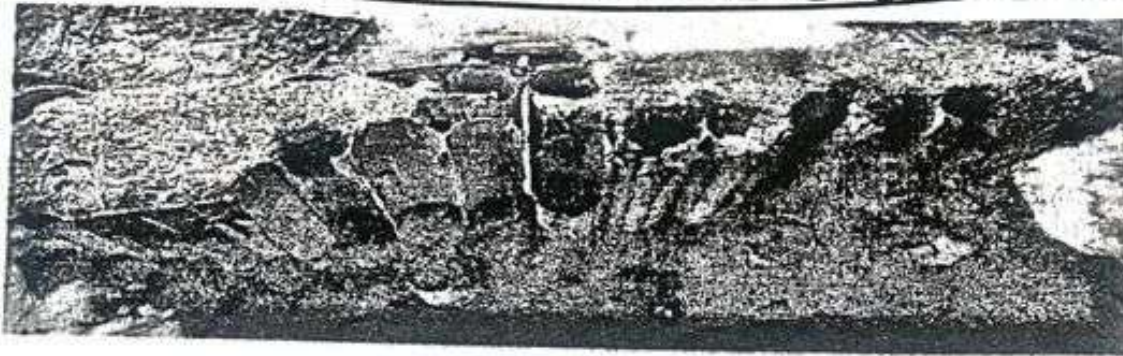
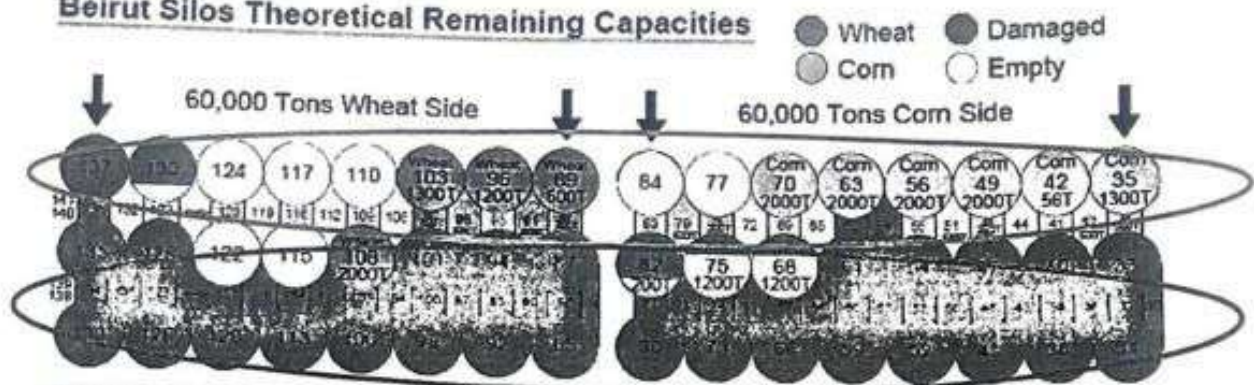
- Vidange des cellules accessibles non endommagées et traitement des grains par une entreprise,
- Évacuation d'une partie des grains au sol, côté cratère, à la suite d'un phénomène d'auto-échauffement en décembre 2021. Ceux-ci ont été traités.



Environ 6000 tonnes de grain ont été sorties du port, 14500 tonnes (*grains et gravats*) ont été recyclés (*Source Recy Group*)

Il reste de d'importantes quantités de céréales dans plusieurs emplacements :

- les grains situés au pied des cellules éventrées (côté cratère),
- les grains restant dans les silos non accessibles à ce jour,
- les grains restant dans les fonds des cellules qui ont été vidangées.

Beirut Silos Theoretical Remaining Capacities



	Cellules ayant été vidées
	Cellules détruites

5) Evolution de la matière organique :

Le grain est une matière organique susceptible d'évoluer naturellement dans le temps, en fonction notamment :

- de son taux humidité,
- de sa température,
- de sa durée d'exposition aux intempéries.

Par conséquent, les apparitions de phénomènes d'auto-échauffements et de dégagements gazeux sont normales et atténuées.

Ce risque d'auto-échauffement s'est amplifié avec le temps, du fait que :

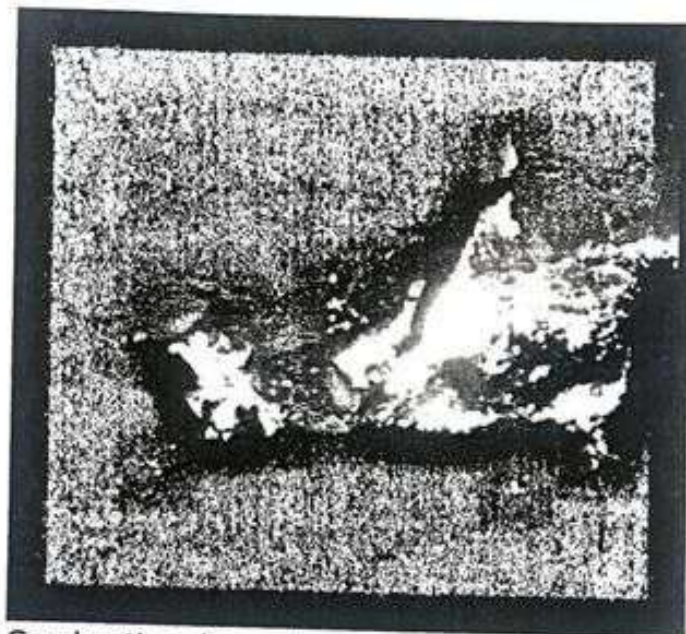
- les grains sont exposés aux intempéries depuis bientôt 24 mois,
- le climat est chaud et humide,
- les grains ont développés un grand nombre de moisissures,
- les grains sont fortement attaqués par les nuisibles (charançons...)
- les grains sont exposés au vent.

Plus le temps passe, plus la probabilité d'une auto-inflammation des grains situés à l'extérieur est importante.

Il faut également noter qu'à partir de 100 ° C, la réaction biologique peut céder sa place à une réaction chimique créant un risque encore plus important d'auto-inflammation.

La situation actuelle sur le port de Beyrouth est déjà au-delà de ce stade. Nous sommes ainsi en présence d'une combustion vive sur un volume conséquent de grains au pied des silos ainsi que dans certaines cellules partiellement debout.

Le volume de grains restant au pied des silos, côté cratère, serait d'environ 3 000 tonnes (Source Recy Group).



Combustion des grains en date du 15/07/2022

6) Caractéristiques des fumées :

A ce jour, il est impossible de pouvoir caractériser les fumées vis-à-vis d'un risque toxique spécifique car aucunes mesures ou prélèvements n'ont pu être réalisés ou analysés.

D'après les images reçues, il est fort probable que nous ayons à faire, en fonction des endroits, à deux types de combustion :

- Une combustion lente

Il s'agit d'une oxydation sans émission de lumière dont la température reste inférieure à 500°C (par exemple : combustion dans les décharges d'ordures ménagères).

- Une combustion vive

C'est une réaction qui consomme rapidement le comburant qui lui est nécessaire. Ce type de combustion est caractérisé par une forte élévation de la température, une émission simultanée de lumière, de flammes, de gaz et de fumées.

De plus, en fonction de l'alimentation du feu en comburant, la combustion peut être :

- Complète

Si le foyer est correctement alimenté en oxygène grâce à un apport d'air suffisant. Les produits de combustion sont alors complètement brûlés.

A de nombreuses reprises depuis la mission de septembre 2020, l'attention des différents interlocuteurs a été attirée sur le risque d'incendie des grains si aucunes mesures n'étaient prises rapidement pour mettre en sécurité le site et traiter ceux-ci.

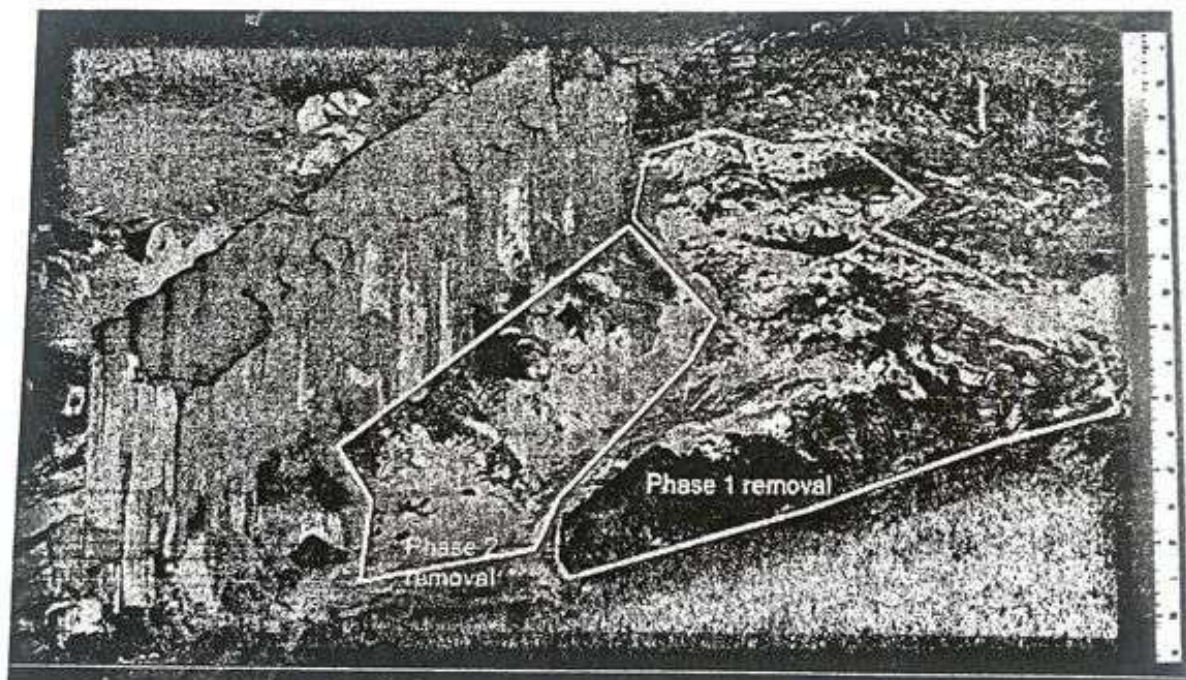
Pour les grains disposés à l'extérieur des silos :

L'INERIS, confirmait dans sa note en date du 01/12/2020,

« Dans l'hypothèse d'un stockage de céréales de dimension importante et compte tenu de la température déjà constatée (70-80°C), le phénomène principal à considérer est le phénomène d'auto-échauffement et ses conséquences au cœur du tas (feu couvant pouvant se manifester en fin de processus par des odeurs de « brûlé » et des fumées). Celui-ci va probablement se poursuivre et dépasser 100°C, avec perte d'humidité du produit par évaporation.

Dans la situation présente, compte tenu du fait que le tas n'est pas confiné, il est vraisemblable que cela débouche sur un incendie dans les semaines à venir et peu probable qu'il y ait explosion. Toutefois, s'il s'avérait qu'il y ait un stockage confiné (ex : silo non détruit) à proximité de cet éventuel incendie, il n'est pas exclu que celui-ci soit sujet aussi à un auto-échauffement pouvant conduire à explosion. »

Pour rappel, 2 alertes, avec montée significative de température et dégagement de fumeroles avaient déjà eu lieu en juillet 2021 et décembre 2021.



Répartition des grains selon le profil thermique en date de décembre 2021

Conclusion :

Les grains disposés à l'extérieur des silos pendant une longue période, à l'air libre ou dans les silos, sans traitement adéquat et en raison des conditions météorologiques réelles, sont soumis à la fermentation entraînant une élévation de température.

- Incomplète

Si le foyer est sous-alimenté en oxygène à cause d'un apport d'air insuffisant. Les produits de combustion sont incomplètement brûlés ou la production importante de fumées et de monoxyde de carbone (CO).

Dans la situation actuelle, il me semble que nous ayons les deux.

Par conséquent, nous avons un dégagement significatif de fumées, donc de particules solides visibles, ainsi que des gaz de pyrolyse de type dioxyde de carbone (CO₂), monoxyde de carbone (CO), oxyde d'azote et de nombreux imbrulés.

Les autres gaz de combustion susceptibles d'être présent sont très liés à la nature des produits ou polluants présents et peuvent être les toxiques (*composés de chlore, fluor, cyanure, soufre, etc.*). Cette présence de toxiques, à ce jour, n'a pas pu être détectée.

7) Comportement des structures en béton vis-à-vis de l'incendie

Les impératifs de stabilité d'un ouvrage en cas d'incendie ont conduit à prévoir le comportement des structures soumises aux effets de feu et les moyens de les calculer.

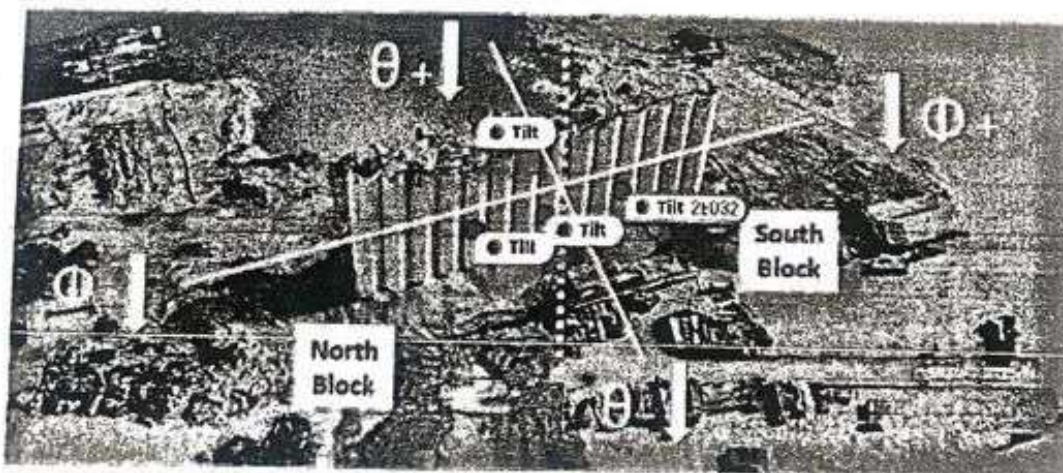
Les méthodes de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton sont décrites dans l'**Eurocode NF EN 1992-1-2**.

Le béton dispose encore de 50 à 60 % de sa capacité de résistance à 600 °C.

Or dans notre situation, la structure ayant étant soufflée par l'explosion, celle-ci est fortement dégradée et fragilisée par endroit.

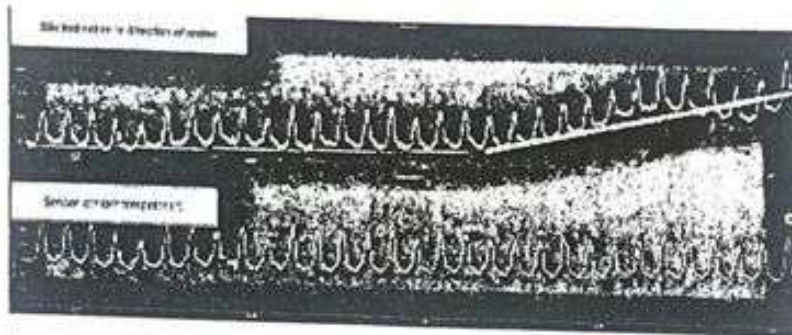
Par conséquent, une montée en température importante des voiles en béton, fragilise encore un peu plus l'ouvrage et personne ne peut prédire, de façon certaine, son comportement.

Grâce à la pose de capteur, inclinomètres, sur la structure en juillet 2021, il a été possible de suivre jusqu'à ce jour le comportement de la structure. Depuis, le 7 juillet, l'incendie à une incidence sur celle-ci, notamment le bloc Nord, où le feu se situe.



Position des capteurs et des blocs - Source : Amann

POSSIBLE TRENDS MOVING FORWARD
 2DDC6 (North Block - Hamra Side)
 THETA angle evolution over one year (Increase means tilt West to East, direction crater)
 TREND: NOT STABLE (There is increase / There is No acceleration)

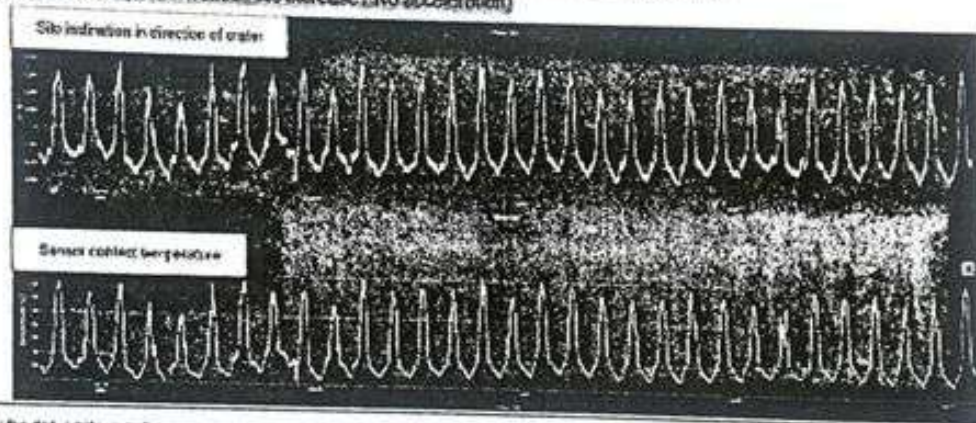


Acceleration = significant increase in heavy
 significant changes in vibration = low to No GC Zone
 Stability
 Possible trends

Note: the daily up/down in the curves is normal movement, due to the sun. At night the silo face or Hamra side gets cooler, so the concrete slightly shrinks and silo slightly comes back towards Hamra. From Midday to end of the day is when the Hamra face has the daily peak, due to sun exposure. What is important is the TREND on the night values day after day. This is the reference. During the day the peaks are affected +/- or +/- depending how high the sun is in the day.
 The temperature curve corresponds to the temperature of the sensor (= surface area of concrete at contact). That is higher than ambient because the day silo accumulates heat.

Mouvement du block North en date du 17/07/2022 - Source : Amann

Inclinometer
 2DFAC (South Block - Hamra Side)
 THETA angle evolution over one year (Increase means tilt West to East, direction crater)
 TREND: STABLE (No decrease / No increase / No acceleration)



Note: the daily up/down in the curves is normal movement, due to the sun. At night the silo face or Hamra side gets cooler, so the concrete slightly shrinks and silo slightly comes back towards Hamra. From Midday to end of the day is when the Hamra face has the daily peak, due to sun exposure. What is important is the TREND on the night values day after day. This is the reference. During the day the peaks are affected +/- or +/- depending how high the sun is in the day.
 The temperature curve corresponds to the temperature of the sensor (= surface area of concrete at contact). That is higher than ambient because the day silo accumulates heat.

Mouvement du block Sud en date du 17/07/2022 - Source : Amann

8) Proposition de plan d'action :

Les grains sont de nature organique, souillés par des agents microbiens à cause des différentes fermentations, invasions d'insectes mélangés à divers débris provenant de l'explosion. En se basant sur la littérature et des retours d'expérience, plusieurs solutions techniques sont envisageables.

Comme expliqué plus haut dans ce document, les grains portent un risque croissant de sur-échauffement causant un incendie, leur disposition en tas surélevés en accroît le risque.

Le tableau ci-dessous, compare les solutions d'action à mettre mise en œuvre