

Rapport d'enquête

Sur la perte d'utilités survenue au
sein d'un site exploité par YARA
sur la commune de Montoir-de-
Bretagne (44) le 29 mars 2024

Bordereau documentaire

Organisme auteur : Bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels (BEA-RI)

Titre du document : rapport d'enquête sur la perte d'utilités survenue au sein d'un site exploité par YARA à Montoir-de-Bretagne (44) le 29 mars 2024

N° : MTE-BEARI-2025-001

Date du rapport : 24/01 /2025

Proposition de mots-clés : Coupure électrique, ammoniac, ammonitrate, compresseurs, chaudière.

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 501-1 à L. 501-19 du Code de l'Environnement.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Au titre de ce rapport on entend par :

- Cause de l'accident : toute action ou événement de nature technique ou organisationnelle, volontaire ou involontaire, active ou passive, ayant conduit à la survenance de l'accident. Elle peut être établie par les éléments collectés lors de l'enquête, ou supposée de manière indirecte. Dans ce cas le rapport d'enquête le précise explicitement.
- Facteur contributif : élément qui, sans être déterminant, a pu jouer un rôle dans la survenance ou dans l'aggravation de l'accident.
- Enseignement de sécurité : élément de retour d'expérience tiré de l'analyse de l'évènement. Il peut s'agir de pratiques à développer car de nature à éviter ou limiter les conséquences d'un accident, ou à éviter car pouvant favoriser la survenance de l'accident ou aggraver ses conséquences.
- Recommandation de sécurité : proposition d'amélioration de la sécurité formulée par le BEA-RI, sur la base des informations rassemblées dans le cadre de l'enquête de sécurité, en vue de prévenir des accidents ou des incidents. Cette recommandation est adressée, au moment de la parution du rapport définitif, à une personne physique ou morale qui dispose de deux mois à réception, pour faire part au BEA des suites qu'elle entend y donner. La réponse est publiée sur le site du BEA-RI.

Synthèse

Le vendredi 29 mars 2024 à 12h25, alors qu'une partie de sa production est à l'arrêt depuis plusieurs mois, l'usine YARA de Montoir-de-Bretagne qui fabrique de l'engrais, subit une perte complète de l'alimentation électrique principale de l'usine.

L'électricité est essentielle au maintien en sécurité du stockage d'ammoniac et du bac de NASC¹. Dans les premiers instants, le chef de quart décide alors de recourir au laveur de gaz dont la fonction est de maintenir la pression du réservoir d'ammoniac en deçà des pressions d'ouverture des soupapes de sécurité mais dont l'emploi induit le rejet d'ammoniac en Loire. Les personnels pensent pouvoir compter sur différents dispositifs de secours présents sur le site pour assurer un retour à une situation normale dans des délais maîtrisés.

Or, de nombreuses pannes ou indisponibilités de matériels vont empêcher la remise en service des installations. Le mode dégradé perdurera jusqu'au lendemain, le temps nécessaire pour remettre en service la totalité des installations nécessaires au maintien en sécurité des installations.

Le BEA-RI identifie comme cause de la rupture d'alimentation, le déclenchement des sécurités au niveau du poste source ENEDIS provoqué par la défaillance de l'une des boîtes de liaison du câble d'alimentation du site YARA. Cette défaillance peut être la conséquence d'un défaut électrique au niveau du tableau général de l'exploitant.

Le BEA-RI retient que l'état de vétusté et le faible niveau de disponibilité des équipements ainsi que l'insuffisance du plan de suivi de l'obsolescence et de maintenance préventive ont été des facteurs qui ont contribué à la survenue de la situation de crise.

Le BEA-RI émet les recommandations suivantes à l'attention de l'exploitant :

- **Définir une stratégie de mise en sécurité du site visant à l'évacuation des potentiels de dangers encore présents (stock d'ammoniac, stock NASC, stock de matières dangereuses) en tenant compte des contraintes et des risques mis en lumière par l'accident : manque de fiabilité du réseau électrique interne, absence de redondance de certains équipements, érosion des effectifs qui met en fragilité les équipes, risque de dégradation du niveau de vigilance et de démobilisation des personnels ;**
- **Élaborer un plan de rénovation des installations électriques en cohérence avec le plan de transformation du site. En particulier, dans la perspective du maintien en service du stockage d'ammoniac, ce plan devra prévoir la rénovation de l'ensemble de l'alimentation électrique du stockage d'ammoniac et de son alimentation de secours, l'amélioration de la résilience des onduleurs et des automates de contrôle et de sécurité, et la sécurisation de la production d'air comprimé ;**

¹ Nitrate d'ammonium en solution chaude

- **Etablir un état des lieux des automates nécessaires à la sécurité des installations et veiller à leur indépendance vis-à-vis de l'exploitation des installations ;**
- **Garantir la présence de personnels techniques nécessaires à la fourniture des utilités et l'entretien des installations ;**
- **Améliorer la procédure de déclenchement du POI, notamment en retenant des critères de déclenchement plus précoces (mise en service du laveur par exemple), et sa montée en puissance en créant la cellule de crise de compétences techniques en provenance du groupe ou des autres sites YARA pour améliorer la fonction anticipation ;**
- **Améliorer la procédure de gestion des eaux ammoniacales issues du laveur pour que la solution de confinement et d'analyse avant rejet soit le mode retenu par défaut.**

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	8
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	8
	II.1 Les circonstances de l'accident	8
	II.2 Le bilan de l'accident	9
	II.3 Les mesures prises après l'accident.....	9
	II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête	10
III.	Contextualisation	10
	III.1 L'entreprise.....	10
	III.1.1 Présentation de l'entreprise	10
	III.2 Le site de Montoir-de Bretagne	10
	III.3 Le contexte particulier du site de Montoir-de-Bretagne	12
	III.3.1 Le stockage d'ammoniac	12
	III.3.2 Le maintien à température du NASC (Nitrate d'ammonium en solution chaude)	14
	III.3.3 L'approvisionnement électrique des installations du site YARA.....	14
IV.	Déroulement de l'évènement.....	16
	IV.1 Déclenchement de l'évènement.....	16
	IV.2 L'intervention des secours publics.....	17
V.	Compte-rendu des investigations menées.....	18
	V.1 La perte d'alimentation du réseau public	18
	V.2 L'état général des installations électriques du site	19
	V.3 Les compresseurs d'ammoniac	19
	V.4 Les compresseurs d'air	21
	V.5 Les automates d'exploitation.....	21
	V.6 Les chaudières	22
	V.7 L'organisation des équipes	23
	V.8 Un fonctionnement en mode dégradé.....	23
	V.9 Des contretemps dans la remise en service des installations	25
	V.10 Le recours à un groupe électrogène mobile	26
	V.11 L'ultime mesure de maîtrise des risques et les rejets en Loire.....	27
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	27
	VI.1 Scénario	27
	VI.2 Facteurs contributifs.....	29
	VI.2.1 L'état de vétusté des équipements non dédoublés.....	29
	VI.2.2 Un faible niveau de disponibilité des équipements.....	30
	VI.2.3 Plan de suivi de l'obsolescence et de maintenance préventive insuffisant.....	30
	VI.2.4 La mobilisation des équipes	31
	VI.2.5 La question des moyens humains et du risque d'érosion des effectifs.....	31
	VI.2.6 La situation particulière du site	31
	VI.2.7 Le dispositif de neutralisation de l'ammoniac.....	31

VI.2.8	Le manque d'anticipation sur les séquences de redémarrage	31
VII.	Enseignements de sécurité.....	32
VII.1	L'obsolescence des matériels électriques d'alimentation de puissance.....	32
VII.2	La remise en service des installations.....	32
VIII.	Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant	33
IX.	Annexe.....	34
Annexe 1	: Synoptiques des défaillances - Illustration des modes communs de défaillances sur la compression d'ammoniac et sur le NASC	35

Rapport d'enquête

Sur la perte d'utilités survenue au sein d'un site exploité par YARA à Montoir-de-Bretagne (44) le 29 mars 2024

I. Rappel sur l'enquête de sécurité

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 501-1 à L. 501-19 du Code de l'Environnement. Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents.

Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité.

Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités. En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

II. Constats immédiats et engagement de l'enquête

II.1 Les circonstances de l'accident

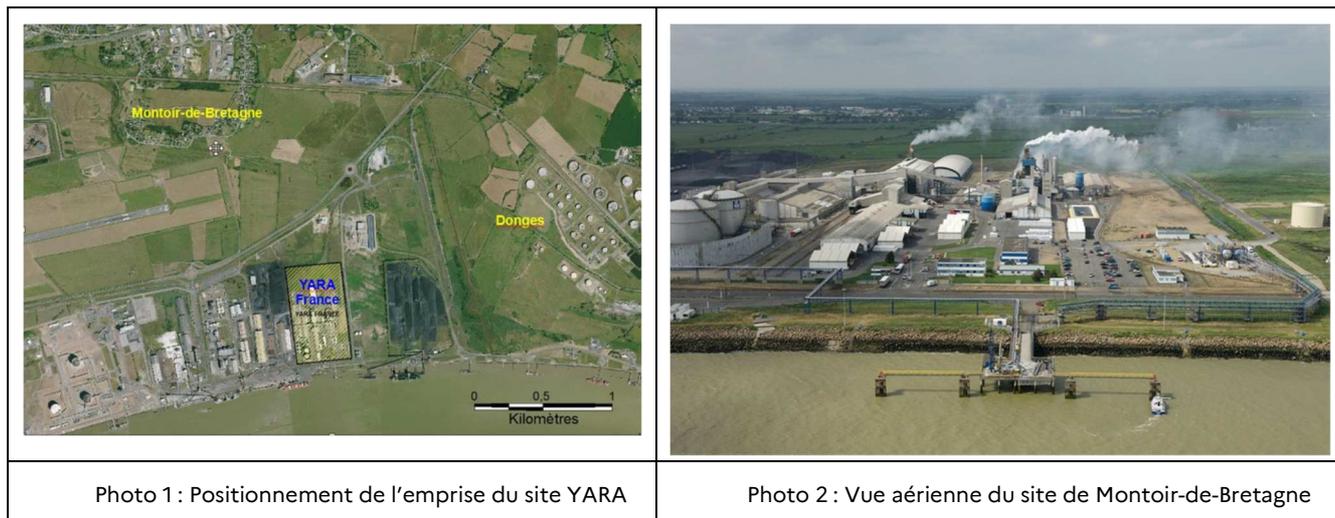
Le site YARA de Montoir-de-Bretagne est une usine de fabrication d'engrais. Le vendredi 29 mars 2024 à 12h25, alors qu'une partie de sa production est à l'arrêt depuis plusieurs mois, le site subit une perte complète de l'alimentation électrique principale de l'usine.

L'électricité est essentielle au maintien en sécurité du stockage d'ammoniac² et du bac de NASC³. Dans les premiers instants, les personnels pensent pouvoir compter sur différents dispositifs de secours présents sur le site pour assurer un retour à une situation normale dans des délais maîtrisés.

Or, assez rapidement, les personnels prennent conscience que ces dispositifs ne prendront pas le relais de l'alimentation principale en raison de problèmes techniques. Le chef de quart décide alors de recourir au laveur de gaz dont la fonction est de maintenir la pression du réservoir d'ammoniac en deçà des pressions d'ouverture des soupapes de sécurité mais dont l'emploi induit le rejet d'hydroxyde d'ammonium (ammoniaque ou solution d'ammoniac) en Loire. Ce mode dégradé perdurera jusqu'au lendemain, le temps nécessaire pour remettre en service la totalité des installations nécessaire au maintien en sécurité des installations.

² L'ammoniac est un composé chimique de formule NH_3 . Dans les conditions normales de température et de pression, c'est un gaz noté NH_3 gaz. Il est incolore et irritant, d'odeur piquante à faible dose ; il brûle les yeux, la peau et les poumons en concentration plus élevée. Son contact direct peut provoquer des brûlures graves. A forte concentration, il peut entraîner des œdèmes pulmonaires et entraîner la mort.

³ Nitrate d'ammonium en solution chaude, maintenu à 150°C environ dans des bacs enroulés de serpentins chauffants, et alimentés par une chaudière au fioul.



II.2 Le bilan de l'accident

L'accident n'aura pas de conséquence humaine ou matérielle.

Deux entreprises voisines (CARGILL et SEA INVEST) ont subi une perte d'électricité sans conséquence sur leurs installations.

La coupure d'énergie a eu pour conséquence des rejets liquides d'ammoniaque (et par conséquent d'azote) dans la Loire en raison du recours au laveur. En effet, l'eau ammoniaquée du laveur passe par le bassin d'orage du site, qui se déverse dans le fleuve. Compte-tenu des pluviométries importantes, la totalité des eaux n'a pas pu être confinée. Elles ont dû être rejetées en Loire selon un protocole établi en lien avec les services du Préfet. Aucun impact notable n'a été rapporté.

II.3 Les mesures prises après l'accident

La DREAL a procédé à une inspection du site le samedi 30 mars au matin.

Un groupe électrogène de secours de 3000 Kva a été livré le samedi 30 mars, et les cuves de fioul ont été approvisionnées pour assurer l'alimentation du groupe électrogène durant le week-end.

Des prélèvements en Loire ont été réalisés en amont et aval du point de rejet par la sécurité maritime portuaire.

Une commission de suivi de site (CSS) exceptionnelle a été réunie par le préfet le jeudi 11 avril 2024.

Un arrêté préfectoral de prescriptions complémentaires a été pris par le préfet de la Loire-Atlantique le 12 avril 2024, imposant des mesures en matière de sécurisation des stockages de matières dangereuses et de sécurisation des installations électriques.

II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête

Au vu des circonstances et du contexte de l'accident, le directeur du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels (BEA-RI) a décidé de l'ouverture d'une enquête technique.

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont donc rendus sur site le jeudi 4 avril 2024 afin de procéder aux premières investigations.

Ils ont recueilli les témoignages et les déclarations des acteurs impliqués dans l'évènement et dans sa gestion. Ils ont eu, consécutivement à ces entretiens et aux réunions techniques organisées par la suite, communication des pièces et documents nécessaires à leur enquête.

III. Contextualisation

III.1 L'entreprise

III.1.1 Présentation de l'entreprise

YARA est un groupe Norvégien né en 2004 de la scission des activités "agriculture" du groupe NORSK HYDRO. L'entreprise est présente dans le monde entier avec 18 000 employés et des activités opérationnelles dans plus de 60 pays. Elle déclarait un chiffre d'affaires en 2023 de 15,6 Mds\$.

Le groupe possède 3 usines en France : Montoir-de-Bretagne (44), Ambès (33) et Le Havre (76).

YARA fabrique essentiellement des engrais chimiques, à base de nitrate d'ammonium.

III.2 Le site de Montoir-de Bretagne

Le site de Montoir-de-Bretagne produit du nitrate d'ammonium et des engrais composés⁴ destinés principalement au marché agricole français.

L'usine de Montoir est en activité depuis 1972. Créée sous la raison sociale "GARDILOIRE", elle devient en 1978 une filiale de RHONE POULENC puis passe sous le contrôle de la COFAZ. En 1986, la COFAZ devient filiale à 100% du groupe NORSK HYDRO, l'usine devient l'établissement de Montoir de la société NORSK HYDRO.

Depuis 2004, le site appartient à YARA International ASA.

Le site de Montoir-de-Bretagne est une ICPE soumise à autorisation, classée Seveso seuil haut, qui est autorisée par arrêté préfectoral du 10 mars 1970. Il emploie 170 salariés.

Les quantités d'engrais stockées sont d'environ de 112 000 tonnes, et les matières premières se composent de :

⁴ Les engrais composés contiennent deux ou trois éléments nutritifs suivants : azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K)

- 2 réservoirs de 13 250t d'ammoniac ;
- 3 réservoirs de 6 400t d'acide phosphorique ;
- 3 500t d'acide sulfurique.



Photo 3 : Réservoirs d'ammoniac



Photo 4 : Réservoirs d'acide sulfurique



Photo 5 : Réservoir d'acide phosphorique

Les unités de production du site comprennent :

- La fabrication d'acide nitrique ;
- La fabrication de nitrate d'ammonium ;
- La fabrication d'engrais complexes dits ternaires comprenant de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) appelé aussi engrais NPK.

Les produits finis (en quantités annuelles) se retrouvent sous les formes suivantes :

- Engrais en vrac ou en big-bags (112 000t) ;
- Acide nitrique (1 300t) ;
- Alkali⁵ (300t).

⁵ L'hydroxyde d'ammonium (de formule chimique NH_4OH ou $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) communément appelé ammoniaque ou alcali est fabriqué en dissolvant de l'ammoniac gazeux (NH_3) dans de l'eau.

III.3 Le contexte particulier du site de Montoir-de-Bretagne

À la date de l'accident, l'usine était à l'arrêt depuis environ 6 mois suite à des problèmes techniques qui ont conduit à l'arrêt non programmé des installations. Depuis cette date, la production a cessé, et les stocks de produits de base et de produits intermédiaires n'ayant pu être consommés sont restés en l'état sous surveillance des équipes de production. On recensait principalement :

- 7000 tonnes d'ammoniac à l'état liquide ;
- 450 tonnes de nitrate d'ammonium en solution chaude (NASC) ;
- Un stock d'ammonitrate granulé nécessaire au redémarrage de la production de NPK ;
- Deux stockages d'acide phosphorique utilisés pour la production de NPK ;
- Un stockage provisoire d'acide sulfurique installé sur le site depuis septembre 2022 à la suite de la découverte d'une fuite sur les réservoirs existants.

Outre cet arrêt inopiné, le contexte est marqué par l'annonce par le groupe YARA de l'arrêt de la fabrication d'engrais chimiques sur son site de Montoir-de-Bretagne à l'horizon mi-2024 et sa volonté de transformer le site en un terminal d'importation et de stockage d'engrais et de stockage d'ammoniac.

Ce projet de transformation doit se dérouler en deux phases :

- Une première phase transitoire de redémarrage des activités avec remise en marche des installations, pour procéder à la vidange et au nettoyage des installations ;
- Une phase plus longue de transition avec mise en sécurité du site et préparation au démantèlement des installations et construction du nouveau terminal.

Dans l'attente du lancement de la première phase, le site doit être maintenu en sécurité.

Ce faisant, deux stockages vont particulièrement mobiliser l'attention durant l'événement qui s'est déroulé sur le site Yara de Montoir : le stockage d'ammoniac et le bac de NASC.

III.3.1 Le stockage d'ammoniac

L'ammoniac est stocké à l'état liquide à pression atmosphérique à une température de -34°C ⁶. La température extérieure étant supérieure, des échanges de chaleur s'effectuent entre l'air ambiant et le contenu des réservoirs. Par conséquent, une quantité d'ammoniac liquide s'évapore et la pression dans les réservoirs tend à augmenter. Il est donc nécessaire, pour maintenir l'ammoniac à l'état liquide et à la pression atmosphérique, d'extraire des réservoirs une partie de l'ammoniac gazeux. Le soutirage de l'ammoniac va tendre à faire baisser la pression, le liquide du réservoir va entrer en ébullition et ainsi consommer une partie de la chaleur contenue au sein de ce dernier. En prélevant plus ou moins de gaz

⁶ La température d'ébullition de l'ammoniac est de $-33,34^{\circ}\text{C}$.

(ou de liquide quand l'usine fonctionne), on peut ainsi contrôler la pression dans les réservoirs et, par là même, la température du liquide.

L'ammoniac gazeux prélevé est comprimé grâce à trois compresseurs (CP1, CP2 et CP3). En sortie des compresseurs, le passage de l'état gazeux à l'état liquide se fait au niveau des condenseurs par transfert de chaleur à un fluide réfrigérant, dans le cas présent de l'eau de refroidissement (ou de l'ammoniac liquide lorsque l'usine fonctionne). Le site dispose de deux condenseurs à eau. L'ammoniac re-liquéfié retourne ensuite au réservoir.

Les équipements de compression et de condensation sont redondés pour garantir des moyens de contrôle de la pression des réservoirs dans le temps. En ultime recours, le site dispose d'un laveur de gaz qui permet, en cas de panne des compresseurs, d'absorber l'ammoniac gazeux issus des réservoirs par de l'eau et éviter ainsi sa dispersion dans l'air. Le laveur est autonome et fonctionne sans électricité, avec de l'eau du réseau public. La solution ammoniacale issue du laveur est envoyée vers le bassin de confinement du site.

L'objectif de l'ensemble de ces dispositifs est de maintenir l'ammoniac à l'état liquide à pression atmosphérique, d'éviter une montée en pression du réservoir et, par voie de conséquence, une émission d'un nuage d'ammoniac consécutivement à une ouverture des soupapes voire à une perte d'intégrité du réservoir.

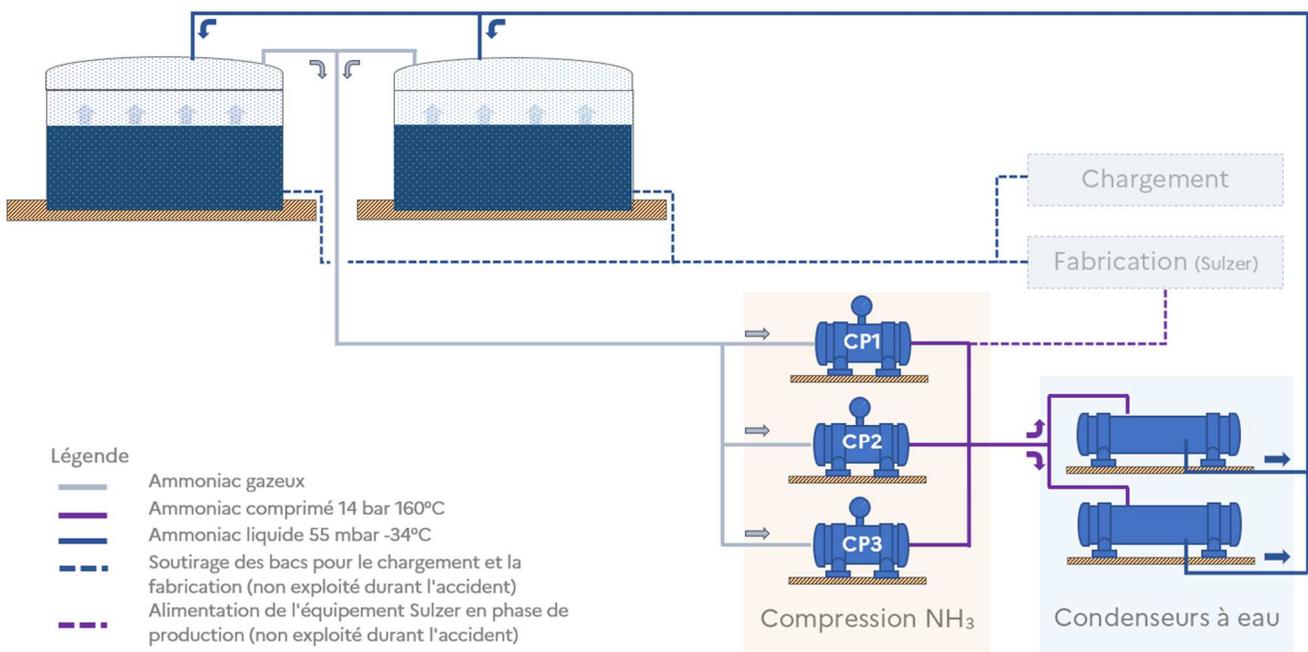


Figure 1 : Schéma simplifié du fonctionnement du stockage d'ammoniac (Crédit BEARI)

III.3.2 Le maintien à température du NASC (Nitrate d'ammonium en solution chaude)

La solution chaude de nitrate d'ammonium est un intermédiaire qui sert à la fabrication d'engrais complexes. Il est stocké dans un réservoir cylindrique vertical d'une capacité de 500 T. Ce réservoir est calorifugé afin de conserver la solution à une température d'environ 140°C. En cas de baisse de la température, des cristaux commencent à se former aux alentours des 110°C, le phénomène s'amplifie au fur et à mesure de la baisse de la température jusqu'à prise en masse et solidification.

Il est assez difficile d'évaluer précisément les risques liés au refroidissement de la solution chaude de nitrate d'ammonium. On peut toutefois identifier trois situations problématiques :

- Augmentation du risque d'explosion : les cristaux de nitrate d'ammonium peuvent être plus sensibles aux chocs et aux frictions que la solution liquide. Si les cristaux se forment et sont agités, ils peuvent présenter un risque accru d'explosion ;
- Blocage des équipements : la cristallisation peut provoquer le blocage des tuyaux, des pompes et d'autres équipements utilisés pour manipuler la solution. Cela peut entraîner des interruptions de processus, des situations potentiellement dangereuses et une perte de l'équipement industriel ;
- Difficultés de manipulation : les cristaux peuvent rendre la manipulation de la solution plus difficile et plus risquée, nécessitant des mesures de sécurité supplémentaires à la dimension de la quantité présente, ici 450 tonnes de solution.

Nous retenons également des échanges que si la sensibilité des cristaux de nitrate d'ammonium a été mise en évidence à petite échelle, une cristallisation ou une solidification de 450 tonnes de NASC constituerait une situation exceptionnelle par son ampleur et sans précédent.

III.3.3 L'approvisionnement électrique des installations du site YARA

Le site YARA est alimenté électriquement depuis le poste source de Donges 63/20 kV par deux départs distincts dénommés Gardiloire⁷ et PF Ouest. Les deux lignes arrivent par des tracés différents au poste de livraison de YARA sur deux points de livraison dénommés I1 et I2 :

- I1 est alimenté en direct par Gardiloire et comme il s'agit d'une ligne dédiée, ce point de livraison constitue l'alimentation principale ;
- I2 est alimenté par PF Ouest pour suppléer une rupture d'alimentation de I1 mais cette ligne étant partagée avec d'autres clients, la puissance maximale garantie n'est pas équivalente. Cette ligne sert donc en secours.

I1 et I2 ne sont pas télécommandés. En cas d'interruption de l'alimentation principale, un opérateur d'ENEDIS doit se déplacer pour procéder à la bascule. Compte-tenu de la disposition du site, l'opérateur ENEDIS dispose d'un accès direct au local dans lequel se trouve l'arrivée des câbles et le tableau général du site. Il n'a donc pas besoin de prévenir l'industriel pour intervenir.

⁷ Gardiloire est le nom de la première raison sociale du site lors de sa création en 1972.

Schéma d'alimentation électrique de YARA :

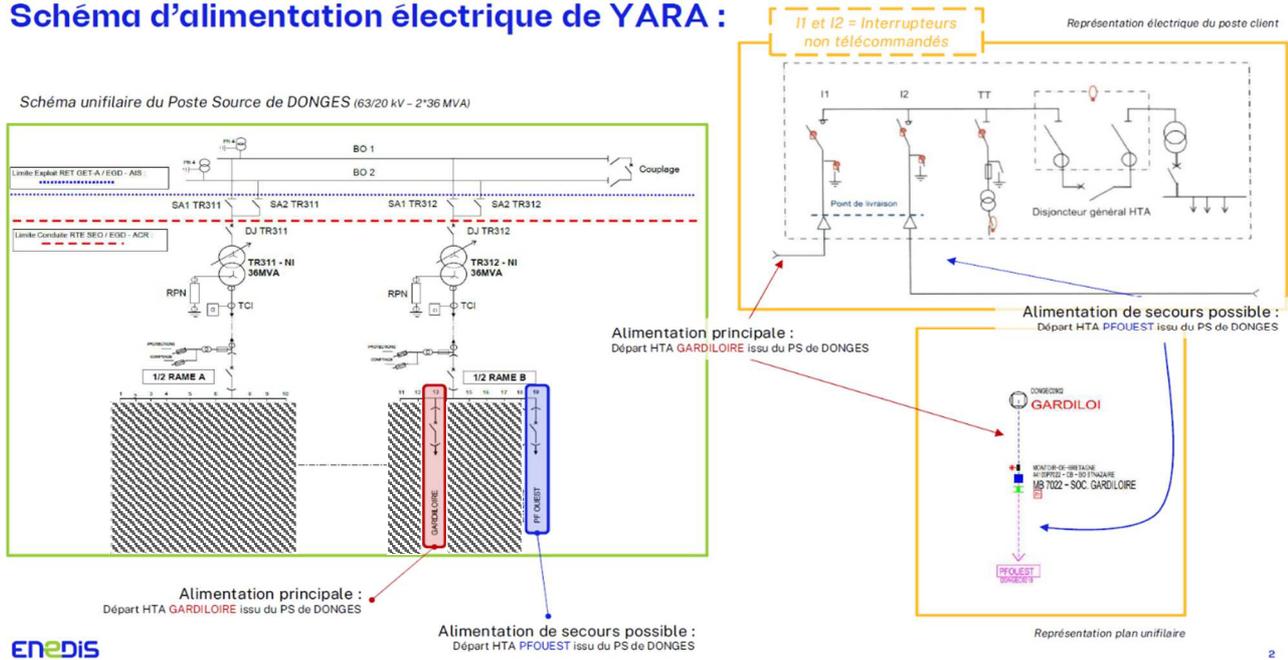


Figure 2 : Schéma d'alimentation électrique de YARA (Crédit ENEDIS)

Sur le site, deux lignes 20kV partent du tableau général vers les installations du site :

- La première ligne alimente le bâtiment énergie dont la fonction est d'alimenter la totalité du site ;
- La seconde ligne alimente la compression de l'ammoniac et en particulier le compresseur CP3.

Le site est équipé de transformateurs 20kV/5,5kV et 20kV/400V, situés dans des sous-stations ou dans le bâtiment énergie, qui abaissent la tension du courant en fonction des équipements à alimenter.

En cas de perte d'alimentation, l'exploitant dispose de moyens autonomes de production et de stockage d'électricité. Ces moyens de secours comprennent :

- Un groupe électrogène principal d'une puissance de 2MVA qui alimente le bâtiment énergie, le stockage de NH₃, les ateliers "nitrique", "nitrate d'ammonium" et "NPK"(dont les chaudières qui servent à la production de vapeur), le lavage des buées et le bâtiment administratif. Son but n'est pas de permettre l'exploitation de l'usine mais de garantir le maintien des conditions de sécurité de l'usine à l'arrêt ;
- Un groupe électrogène dédié à l'un des trois compresseurs "ammoniac", en l'occurrence le CP3 ;
- Un ensemble d'onduleurs d'une puissance qui varie entre 10kVA et 80 kVA, permet de protéger et de secourir essentiellement des automates et des systèmes numériques contrôles commandes, la salle POI, le système informatique, les centrales incendie et le contrôle d'accès sécurité. Leur autonomie varie en fonction des onduleurs et des équipements secourus, entre 10 min et 60 min ;
- Compte-tenu des puissances installées, les équipements de forte puissance tels que les compresseurs ou les pompes, ne sont pas secourus par ces onduleurs.

Tableau 1 : liste des onduleurs recensés

	Puissance	Autonomie	Fonction
Onduleur 1	10 kVA	10 min	Normal et secours
Onduleur 2	10 kVA	10 min	Normal et secours
Onduleur 3	10 kVA	10 min	Normal et secours
Onduleur 4	80 kVA	60 min	Normal et secours

IV. Déroulement de l'évènement

IV.1 Déclenchement de l'évènement

Le vendredi 29 mars à 12h25, l'alimentation électrique haute tension est interrompue par déclenchement des sécurités électriques du poste source de DONGE.

Dès que la coupure se produit, les différents onduleurs, qui possèdent une autonomie comprise entre 10 minutes (pour les onduleurs des bâtiments "NH₃", "maintenance" et "bâtiment administratif") et 60 minutes (pour le bâtiment "Energie"), prennent le relais.

De son côté, le groupe électrogène se met en route mais ne se couple pas au réseau interne du site. Les techniciens de YARA identifient rapidement que le problème concerne un contacteur qui ne fonctionne pas correctement. Ils décident de procéder au changement de contacteur en recourant à un autre contacteur utilisé ailleurs sur l'installation électrique. Cette opération prendra environ 2 heures.

De son côté, informé de l'arrêt de l'alimentation, ENEDIS dépêche un technicien depuis Saint-Nazaire afin de basculer manuellement la cellule client sur l'alimentation haute tension de secours, le site pouvant être alimenté par deux lignes. À 13h02, la bascule est opérée. Pour autant la réalimentation du site ne se fait pas immédiatement.

Compte-tenu de la situation (perte d'alimentation réseau, absence de secours, fonctionnement du site sur onduleur), la décision est prise d'utiliser le laveur de gaz pour prévenir tout risque de montée en pression du bac d'ammoniac. À 13h30, le laveur est opérationnel.

À 13h35, la cellule de crise de l'industriel est activée pour faire face aux risques liés à deux scénarios :

- Un premier scénario lié à la perte de la compression de l'ammoniac qui entraîne une montée en pression du réservoir d'ammoniac et une ouverture des soupapes ;
- Un second scénario lié au refroidissement du NASC qui induirait la formation de cristaux de nitrate d'ammonium voire de prise en masse partielle ou totale des 450 tonnes de NASC.

À 13h50, les onduleurs cessent de fonctionner ce qui entraîne la perte des écrans et des systèmes de conduite. En l'absence de perspective d'un retour rapide à la normale, la décision est prise de déclencher le POI à 13h55 soit formellement 25 minutes après la mise en service du laveur de gaz.



Figure 3 : Vue du site de YARA (Crédit SDIS44)

IV.2 L'intervention des secours publics

Les sapeurs-pompiers de Loire-Atlantique sont appelés à 14h06 par l'industriel qui demande l'engagement d'un « officier de liaison » suite à l'activation du POI.

Le groupe d'intervention « officier de liaison » comprend différents moyens et personnels pouvant suivre l'évolution de la situation sur le site de l'industriel et apporter conseils et expertise à ce dernier. Il comprend notamment des officiers de la chaîne de commandement et des experts de l'unité opérationnelle en risques chimiques.

L'envoi d'officiers de liaison permet aux secours publics d'être ainsi au fait de la situation si l'accident venait à déborder des limites du site de l'industriel et que le PPI était activé, impliquant de fait la gestion de l'intervention par les secours publics sous la direction du Maire ou du Préfet.

Après avoir suivi la situation au sein de la cellule de crise de l'industriel tout au long de la durée de l'accident, les sapeurs-pompiers quittent les lieux le samedi 30 mars à 15h30.

V. Compte-rendu des investigations menées

Les enquêteurs techniques du BEA-RI se sont donc rendus sur site le jeudi 4 avril 2024 afin de procéder aux constats et mener les premières investigations sur les installations impliquées dans la séquence accidentelle. Ils ont par la suite conduit différents entretiens avec plusieurs entités concernées directement ou indirectement par l'accident. Sans reprendre dans le détail l'ensemble des constatations dressées, les enquêteurs retiennent les éléments marquants suivants.

V.1 La perte d'alimentation du réseau public

Dès qu'il est informé de la rupture d'alimentation par déclenchement des sécurités du poste source, ENEDIS a missionné en urgence un opérateur sur le site YARA pour procéder à la bascule de ligne et a lancé par ailleurs des investigations techniques sur son réseau.

La bascule de ligne sera techniquement réalisée à 13h02. Elle nécessitera l'interruption de la fourniture d'électricité sur la ligne de secours pendant quelques minutes ce qui impactera les autres sites industriels raccordés. L'agence de conduite régionale (ACR), après vérification de la puissance disponible sur la ligne⁸, sera en capacité de confirmer le raccordement électrique, il est au plus tard 13h38.

Selon les informations recueillies auprès du gestionnaire de réseau, la ligne électrique ne présentait pas, en termes de qualité du courant, de signes précurseurs de défaillance ou de rupture. La coupure de l'alimentation est la conséquence du déclenchement des sécurités électriques du départ GARDILOIRE provoqué par un défaut de ligne au niveau d'une boîte de jonction située entre le poste source et le site YARA. Cette panne a été réparée le lendemain de la coupure et l'alimentation depuis le départ GARDILOIRE sera effective le samedi 30 mars à 16h40.

Concernant les causes de cette défaillance, l'examen des déclarations de travaux sur les jours qui ont précédé la coupure confirme que des travaux ont eu lieu sur le tracé de la ligne. Toutefois, aucun de ces chantiers ne coïncide avec le lieu de réparation de la ligne.

Le défaut détecté par les sécurités du poste source ne peut être que la conséquence d'un vieillissement de la boîte de jonction ou la résultante d'un défaut aval au niveau de l'installation électrique de YARA, unique client alimenté par cette ligne.

Il se trouve que l'exploitant YARA a constaté, après la coupure électrique et durant la gestion de l'événement, des traces d'arc (présence de suie sur la face avant d'une des cellules) qui ont pu se produire concomitamment au défaut détecté sur la boîte de liaison. Le rapport de contrôle électrique de 2021⁹ mentionne l'existence de processus d'usure et de défaillance latents (constat de début de décharges partielles). Les dispositifs de sécurité (relais de protection, disjoncteurs) qui équipent le tableau de YARA sont des systèmes anciens. De sensibilité ou de réactivité plus faibles, ils peuvent avoir laissé passer des surintensités préjudiciables au câble et au disjoncteur.

⁸ Pour un client industriel tel que YARA qui nécessite une puissance électrique importante, l'information de rétablissement du courant n'est pas donnée par le technicien chargé de l'opération sur site mais par l'agence de conduite après vérification de la puissance disponible et des puissances appelées par les autres clients desservis par la ligne.

⁹ Référence Schneider : PRA200-005100162279 /WO-08638216

V.2 L'état général des installations électriques du site

Les installations électriques sont régulièrement contrôlées par un prestataire externe et maintenues en état par les électrotechniciens du site, le cas échéant appuyé par des prestataires externes en fonction de la nature de l'intervention. Le groupe électrogène est démarré une fois par mois et un test de couplage est effectué une fois par an au moment de l'arrêt des installations.

Il ressort de l'examen général de l'installation, des témoignages et des rapports de contrôle que l'installation électrique du site repose sur une technologie ancienne et que bon nombre des équipements sont frappés d'obsolescence. Cette situation pose des problèmes :

- De fiabilité et de coût de maintenance ;
- De disponibilité de pièces détachées qui peuvent entraîner des délais de réparation importants ;
- D'interopérabilité en raison d'incompatibilité avec des matériels plus récents ;
- De contraintes bâtimentaires, comme par exemple lorsque le changement de matériel induit des modifications de génie civil (par exemple, évolution de l'espacement des rails de positionnement des transformateurs).

Compte-tenu de l'état des équipements et des difficultés que pose leur entretien, le service maintenance se voit principalement accaparé par des tâches de maintenance curative au détriment des opérations de maintenance préventive ou des réflexions sur l'amélioration des installations et la planification des interventions.

L'exploitant nous a fait savoir que plusieurs travaux de rénovation des installations avaient été planifiés (changement des cellules du poste de livraison, remplacement des cellules du tableau énergie, remplacement du tableau 20kV du stockage ammoniac, projet de sécurisation de l'alimentation interne au site). Ces travaux avaient enregistré des retards dans leur mise en œuvre en raison d'une charge de travail accrue pour les équipes de maintenance à laquelle s'ajoutent des contraintes liées à la disponibilité des installations. L'annonce du plan de transformation annoncé le 30 octobre 2023 a conduit au report de ces travaux.

V.3 Les compresseurs d'ammoniac

Pour garantir une capacité de compression suffisante en toute circonstance, le site dispose de trois compresseurs dont les caractéristiques sont les suivantes :

	CP1	CP2	CP3
Alimentation	Depuis salle énergie	Depuis salle énergie	Depuis tableau général via un tableau dédié mais non fonctionnel le jour de l'événement.
Voltage	380 V	5500 V	5500 V
Puissance moteur	240 kW	405 kW	405 kW
Secours	Par groupe électrogène principal	Non	Oui, par un groupe électrogène dédié mais non fonctionnel depuis son installation.
Pilotage	Par automatisme (P et T) ¹⁰	Commande en local	Par automatisme (P et T) ¹¹

Tableau 2 : tableau des compresseurs "ammoniac", caractéristiques électriques et alimentation

Les alimentations électriques des compresseurs sont réalisées de la manière suivante :

- CP1 et CP2 sont alimentés depuis la salle énergie, respectivement en 380 V et en 5,5 kV ;
- CP3 est alimenté en direct depuis le poste de livraison par une ligne 20kV. La tension est abaissée à 5,5 kV pour alimenter le compresseur. Toutefois, depuis la mise en lumière d'un défaut sur un contacteur, cette alimentation n'était plus opérationnelle. Concernant CP3, la décision a été prise en 2023 d'installer un groupe électrogène et un moteur 380V dédiés afin de pouvoir disposer d'un compresseur de secours disposant d'une alimentation autonome. Toutefois, cette installation n'a jamais fonctionné, le groupe n'étant pas assez puissant pour délivrer le courant suffisant au démarrage en dépit de l'installation d'un démarreur dédié ;
- En termes de sécurisation de l'alimentation, CP1 est secouru par le groupe électrogène du site.

¹⁰ Pression et température

¹¹ Pression et température

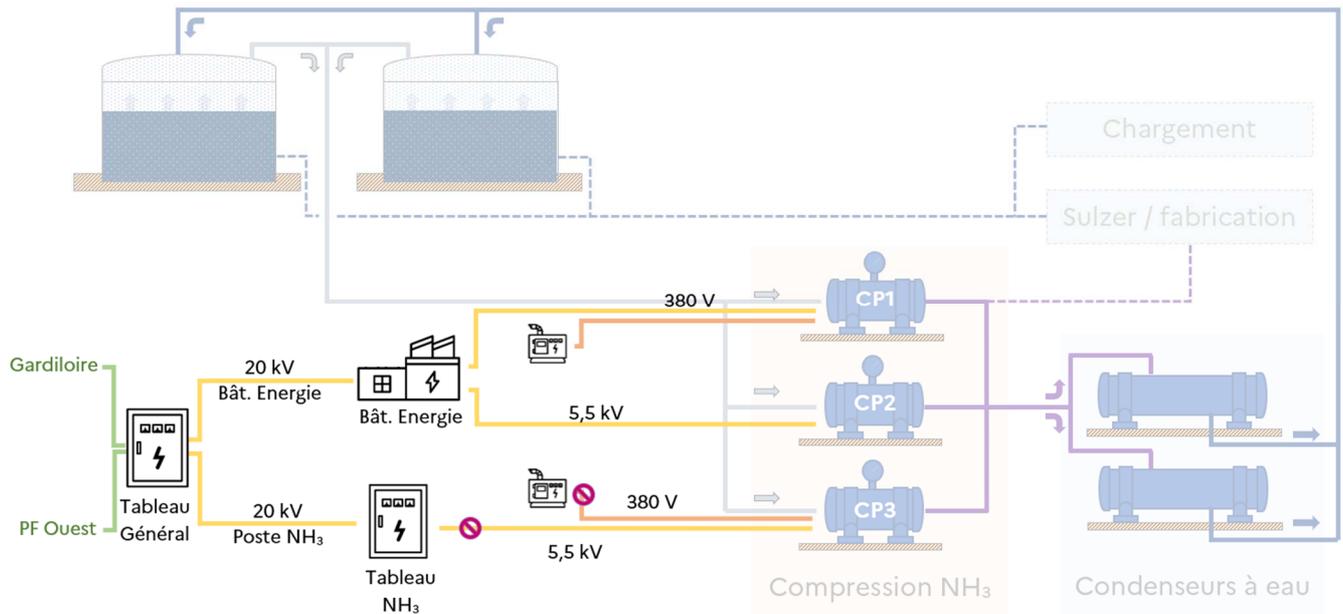


Figure 4 : Schéma d'alimentation électrique des 3 compresseurs d'ammoniac. Les pictogrammes rouges indiquent les alimentations non fonctionnelles le jour de l'évènement - situation avant l'évènement (Crédit BEA-RI).

V.4 Les compresseurs d'air

Trois compresseurs (désignés Nord, Sud et Ouest) produisent l'air comprimé nécessaire aux procédés de synthèse et au fonctionnement des vannes à commande pneumatique utilisées en exploitation comme en dispositif de sécurité. Ces vannes sont à sécurité positive.

Ces compresseurs sont essentiels au fonctionnement des process. Sur les trois présents sur le site, seul le compresseur Sud est secouru par le groupe électrogène principal. Le jour où l'évènement s'est produit, le compresseur Sud était hors service en raison d'une panne ancienne. Cette indisponibilité était sans conséquence sur les conditions d'exploitation puisque les deux autres compresseurs fonctionnaient normalement.

V.5 Les automates d'exploitation

Le fonctionnement des installations est géré par un ensemble d'automates programmables et de systèmes de contrôle et de commande. Le mode automatique prend une place plus ou moins importante dans les phases de lancement des séquences (sauf pour le démarrage de l'atelier nitrique qui n'est pas automatisé) et le maintien en fonctionnement des installations.

À titre d'illustration, l'étude de dangers rappelle que "Tout passage en mode manuel d'un équipement fonctionnant au sein d'une séquence automatique provoque l'arrêt de l'équipement et finalement l'arrêt de la séquence voire de l'unité. Le mode manuel ne constitue donc pas un mode d'exploitation des ateliers (Nitrate, NPK, alcali). En situation d'exploitation, les opérateurs n'effectuent que des opérations de surveillance, de réglage de l'allure et de paramètres de fonctionnement et de contrôle qualité décrites plus loin."

Les automatismes sont donc très intégrés dans la gestion des équipements et de la sécurité. L'enjeu pour l'exploitant est donc, en cas de perte d'alimentation, de maintenir le courant sur le site sous peine de perdre la programmation des automates et retarder la remise en service de ces derniers. La répartition entre fonction d'exploitation et fonction de sécurité semble ne pas être dissociée lorsque les automates servent à piloter des équipements nécessaires au maintien en sécurité des installations (comme par exemple la fonction de compression d'ammoniac qui est, en tant que telle, une fonction de sécurité régie par un automate dont le statut reste à déterminer).

V.6 Les chaudières

La vapeur est utilisée dans les différentes zones de process : chaîne de distribution de l'ammoniac, production d'acide nitrique (préparation de l'air, production de nitrate d'ammonium, granulation du NPK). De nombreux process de fabrication étant eux-mêmes exothermiques, une partie significative de la vapeur est produite à partir de la chaleur récupérée au niveau des procédés de synthèse. Lorsque l'usine fonctionne, des chaudières viennent donc en appoint de ces sources de vapeur. Elles sont en revanche indispensables lors des phases de démarrage et lorsque l'usine est à l'arrêt. Dans la configuration dans laquelle se trouve l'usine au moment de l'accident, la production de vapeur est nécessaire pour maintenir le réservoir de nitrate d'ammonium en solution chaude à une température de 140 °C environ.

Le site dispose de deux chaudières : une chaudière 44 bar et une chaudière 16 bar. Ces deux chaudières fonctionnent au fioul lourd et au fioul léger. Elles sont toutes les deux raccordées au groupe électrogène principal du site.

	Chaudière Steinmuller	Chaudière auxiliaire
Pression	44 bar	16 bar
Combustible	fioul léger & fioul lourd	fioul léger & fioul lourd au moment de l'évènement seule l'alimentation en fioul léger était opérationnelle
Secouru par groupe électrogène	Oui	Oui

Tableau 3 : Caractéristiques des chaudières

Le jour de l'évènement, une opération de maintenance sur la chaudière 16 bar était en cours. Son alimentation en fioul lourd était déconnectée.

Au cours de la gestion de crise, et notamment pour rétablir la régulation de la température du NASC, l'exploitant a longtemps pensé qu'une seule de ces chaudières était secourue (en l'occurrence la chaudière 16 bar) en omettant que la chaudière 44 bar l'était également. Il a donc choisi de fonctionner avec sa chaudière 16 bar en fioul léger alors que son autonomie était limitée à une vingtaine d'heures). Il

a donc fallu mettre en place un approvisionnement au cours du week-end pour passer la situation de crise.

L'option chaudière 44 bar aurait été meilleure en termes d'autonomie dans la mesure où elle pouvait être alimentée en fioul lourd et que le stock de fioul lourd offrait une autonomie plus longue. Toutefois, cette chaudière ayant été arrêtée brutalement alors qu'elle fonctionnait au fioul lourd, son redémarrage aurait probablement nécessité une intervention longue avant sa remise en service.

V.7 L'organisation des équipes

Les équipes chargées de l'entretien, de la maintenance et des travaux de transformation des installations électriques et des automatismes sont placées sous la direction du responsable maintenance. L'équipe comprend 12 personnes selon l'organigramme qui a été communiqué aux enquêteurs. Selon ce même organigramme, deux postes sont mentionnés « gelés ».

En pratique, 4 à 5 personnes dont le responsable maintenance, étaient en première ligne pour intervenir sur les différentes pannes ou contretemps techniques qui se sont produits lors de la remise en service des installations. Compte-tenu de la taille du site, du nombre et de la nature des défaillances, de la durée de la crise, de la complexité des interventions, de tels moyens peuvent sembler faibles. Ils ne permettent pas en tout cas de doter la cellule de crise de l'exploitant de compétences techniques en capacité d'assurer une fonction d'anticipation.

V.8 Un fonctionnement en mode dégradé

Les enquêteurs relèvent que plusieurs pannes se sont produites alors même que le site fonctionnait déjà en mode dégradé en raison de l'indisponibilité de certains équipements :

- **La défaillance du câble d'alimentation du site** : comme cela a été exposé précédemment, il s'agit de la défaillance qui a provoqué le déclenchement des sécurités du poste source et l'arrêt de l'alimentation électrique ;
- **La défaillance du tableau général** : rapidement, les équipes techniques de l'exploitant ont constaté sur la face avant d'une des cellules du local électrique des traces de suies caractéristiques d'une défaillance interne. L'expertise menée ultérieurement par SCHNEIDER Electricité conclura à un défaut d'isolement au niveau du transformateur de courant. Cette défaillance a empêché la reconnexion rapide du site alors même que le courant avait été rétabli à partir de 13h02. En outre, le tableau général présentait des signes de mauvais fonctionnement (bruits de crépitements caractéristiques d'effluves¹², trace d'amorçage sur les transformateurs de

¹² L'effluve électrique désigne un phénomène où un courant électrique s'échappe d'un conducteur sous haute tension, sans créer d'arc électrique complet, mais en ionisant l'air ou un autre gaz environnant. Ce phénomène génère un faible écoulement d'électricité dans l'air, souvent accompagné de lumière (généralement bleutée ou violette) et parfois de sons comme des crépitements ou des bourdonnements. Ce phénomène peut être un signe annonciateur de la formation d'arcs électriques.

courant) qui ont contraint l'exploitant à procéder à une tentative de reconnexion le 30 mars en matinée et à une seconde le même jour en début d'après-midi.¹³ ;

- **Dysfonctionnement du contacteur de puissance du groupe électrogène et du premier contacteur de remplacement.** Si le démarrage du groupe électrogène n'a pas posé de difficulté, sa connexion au réseau interne a en revanche été retardée de deux heures en raison d'un défaut au niveau du contacteur. En l'absence d'équipement de rechange disponible, l'exploitant n'a pas eu d'autre choix que de prélever un contacteur identique sur une autre partie de l'installation. Ce contacteur de remplacement s'est avéré à son tour défectueux. L'exploitant a donc prélevé un second contacteur sur un transformateur qui était consigné en raison de travaux. Il a donc fallu procéder à la déconsignation du transformateur pour procéder au démontage du contacteur et à son installation sur la ligne du groupe électrogène. Deux interventions plus tard, l'alimentation de secours du site était effective ;
- **L'état « hors service » du compresseur d'air Sud :** avant que la rupture d'alimentation électrique du site ne se produise, le compresseur Sud était hors service. Dans la mesure où c'est le seul compresseur d'air alimenté par le groupe électrogène principal, l'exploitant n'était pas en capacité d'opérer ses installations même lorsque l'alimentation a été rétablie. Pour mémoire, l'air comprimé est nécessaire au fonctionnement d'une grande partie des vannes qui sont à commande pneumatique. Il a donc fallu que les équipes techniques de YARA trouvent une solution pour alimenter un des deux autres compresseurs d'air ;
- **L'état « hors service » du groupe électrogène du CP3 :** l'alimentation depuis le tableau général du CP3 n'étant plus opérationnelle, l'exploitant a décidé en 2023, l'installation d'un groupe électrogène dédié à ce compresseur. Cet équipement n'a jamais pu fonctionner convenablement en raison d'une puissance insuffisante du groupe électrogène qui lui était associé. Le CP3 n'était donc pas opérationnel le jour où la rupture d'alimentation s'est produite ;
- **L'état hors service de l'alimentation en fioul lourd de la chaudière 16 bar.** La consignation de l'alimentation en fioul lourd, dans le cadre d'une opération de maintenance programmée, a généré une contrainte supplémentaire lors de la séquence de retour à la normale. En effet, les réserves en fioul léger étant moins importantes que celles en fioul lourd, la question de l'approvisionnement a dû faire l'objet d'une attention particulière.

Pour rétablir le courant sur son site, l'exploitant avait le choix entre :

- Réparer le contacteur de puissance du groupe électrogène ;
- Remettre en service son tableau général après rétablissement de l'alimentation par ENEDIS.

Considérant les incertitudes sur l'état technique du tableau général, l'exploitant a privilégié l'opération de maintenance sur le contacteur que ses propres équipes techniques maîtrisaient. Compte-tenu des

¹³ L'état général des équipements a conduit l'entreprise en charge de l'entretien et du contrôle des installations électriques à recommander un changement complet de matériel. Les travaux de rénovation de l'installation ont eu lieu en juillet après qu'une nouvelle panne ait privé le site d'alimentation électrique le 30/05/2024.

difficultés rencontrées lors de la remise en service du tableau le vendredi après-midi et au cours de la journée du samedi, le choix de l'industriel s'est avéré être le plus adapté.

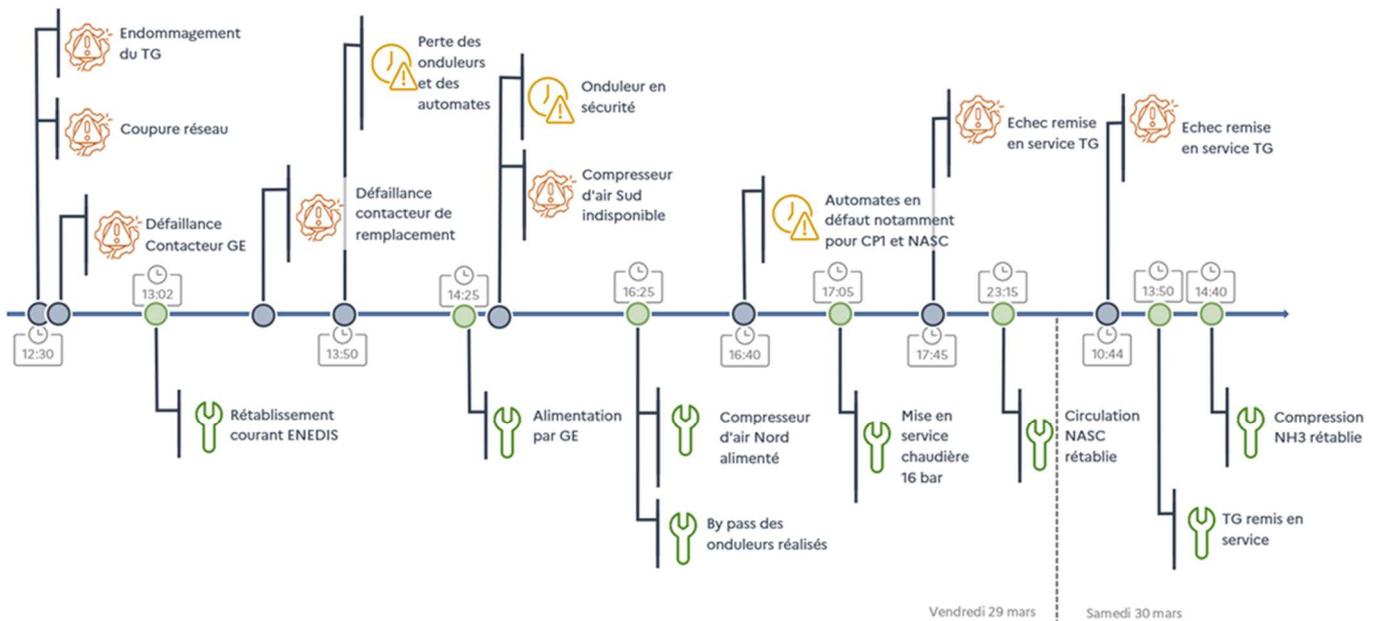


Figure 5 : chronologie des pannes et des interventions réalisées par les équipes techniques de YARA et ses prestataires (Crédit BEA-RI)

V.9 Des contretemps dans la remise en service des installations

Deux natures d'événements ont ralenti la remise en service des installations. Il ne s'agit pas de défaillances techniques mais de contretemps dont certains sont attribuables à une méconnaissance du fonctionnement des équipements.

La mise en sécurité des onduleurs

Un onduleur est un dispositif qui convertit le courant continu (DC) de ses batteries en courant alternatif (AC), pour alimenter des appareils électriques en cas de coupure de courant. Lorsqu'un onduleur est connecté au réseau électrique, il charge ses batteries tout en fournissant du courant aux appareils connectés. Certains onduleurs sont équipés d'une fonction dérivation (By-pass) lorsque leurs batteries sont déchargées permettant ainsi une alimentation des appareils en direct.

Dans d'autres cas, l'onduleur empêche le passage du courant quand ses batteries sont déchargées, principalement pour protéger les batteries et les équipements connectés, et parce qu'il n'a pas suffisamment d'énergie pour effectuer la conversion de DC à AC. C'est ce qu'il s'est produit sur le site au moment de l'alimentation de l'onduleur 80kVA (les autres onduleurs sont équipés de la fonction By-pass).

Le redémarrage de l'onduleur a donc nécessité de faire appel à un prestataire externe pour le reconfigurer et permettre l'alimentation des installations (mise en by-pass des onduleurs).

La reprogrammation des automates

Lorsque les onduleurs n'ont plus été en mesure de délivrer de courant, les automates n'ont plus été alimentés, ce qui a provoqué la perte de certains paramètres stockés au niveau de la mémoire volatile ou la corruption des données du fait de l'arrêt intempestif. A priori, l'arrêt n'a pas provoqué d'endommagement de composant électronique. L'intervention d'un prestataire externe a été nécessaire pour redémarrer les automates dans de bonnes conditions.

V.10 Le recours à un groupe électrogène mobile

Au cours de la gestion de crise, l'industriel a, sur demande de l'inspection des installations classées, commandé un groupe électrogène mobile pour alimenter le réseau interne en l'absence de moyen interne opérationnel. Ce groupe de secours a été livré le samedi 30 mars vers midi, il a été branché et conservé sur site pour sécuriser la phase de remise en service des installations.

Cette demande a posé dans un premier temps une difficulté d'ordre technique dans la mesure où l'industriel, qui n'avait jamais rencontré ce besoin jusqu'à présent, ne savait pas comment connecter, dans des délais courts, ce groupe à son réseau interne.

Le réexamen après l'évènement, des schémas du réseau électrique interne du site a permis d'identifier deux points de raccordement possibles.

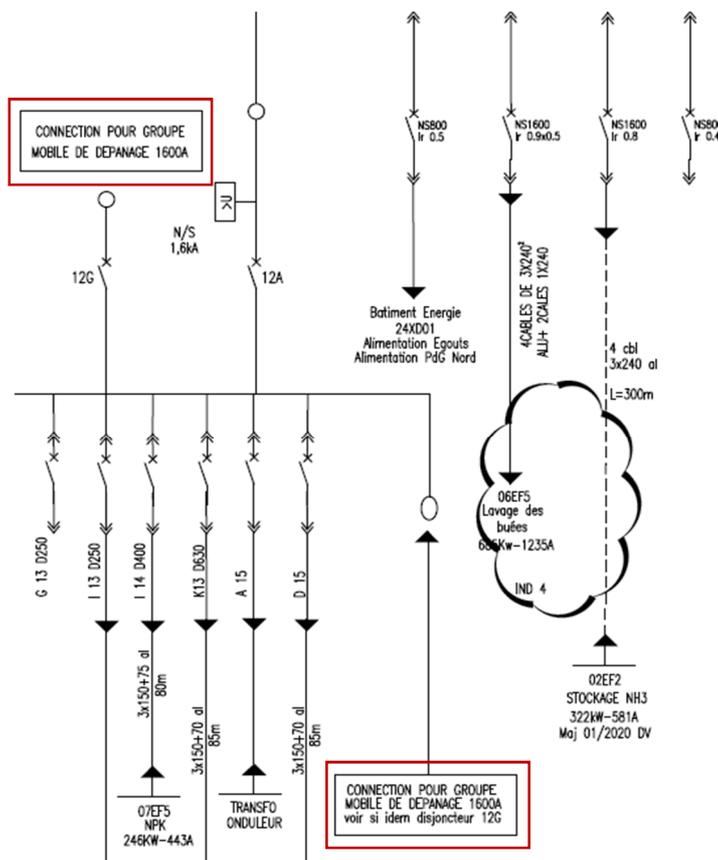


Figure 6 : Schéma électrique du site mentionnant les points de connexion des groupes mobiles (encadrés en rouge)

V.11 L'ultime mesure de maîtrise des risques et les rejets en Loire

Le laveur des vapeurs d'ammoniac, dont le fonctionnement ne fait appel à aucune source d'énergie (électricité, vapeur, air comprimé), a parfaitement joué son rôle pour maintenir la pression du réservoir d'ammoniac constante et éviter un rejet d'ammoniac dans l'atmosphère par les soupapes de sécurité.

La mise en service du laveur a eu pour conséquence le rejet direct des eaux chargées en azote. Ce rejet s'est poursuivi jusqu'à ce que la possibilité de retenir les eaux ait été évoqué en cellule de crise soit jusqu'au samedi 11h. À partir de cette heure, les rejets ont été retenus dans le bassin de rétention des eaux d'extinction du site.

L'exploitant a réalisé des analyses sur ces eaux stockées, toutes les 6 heures environ, afin de déterminer selon les seuils atteints, s'il pouvait, ou pas, rejeter directement en Loire. Compte-tenu des conditions météorologiques, du débit issu du laveur et de la capacité limitée du bassin, des rejets contrôlés ont donc été opérés pour prévenir les risques de débordement et minimiser les impacts sur la qualité des eaux de la Loire.

Au total, durant les 25h d'indisponibilité de l'installation de compression d'ammoniac, 1,8t d'ammoniaque sera rejetée dans la Loire.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

Le 29 mars, lorsque la perte d'alimentation se produit, l'usine de Montoir est dans une situation que nous qualifierons d'arrêt non programmé qui nécessite de maintenir les installations en fonctionnement pour prévenir deux natures de risque :

- Le risque de montée en pression des réservoirs d'ammoniac provoqué par le réchauffement naturel de ce dernier (qui conduirait à un rejet d'ammoniac gazeux dans l'environnement) ;
- Le risque de cristallisation du NASC, par refroidissement de la solution chaude (qui poserait un problème de mise en sécurité compte-tenu de la sensibilité du produit et de la difficulté de gérer une telle quantité).

À 12h25, les sécurités du poste source ENEDIS se déclenchent à la suite d'une défaillance d'une boîte de liaison située sur la liaison principale du site. Compte-tenu des difficultés que rencontrera l'exploitant dans la remise en service de son tableau général, qui présentera des traces d'arcs, des désordres de nature électrique rapportés par les électriciens du site (grésillements) et les opérations de reconnexion et de déconnexion successives qui ont été nécessaires, le BEA-RI considère qu'il ne peut être exclu que le défaut technique originel se soit produit au niveau du tableau général de YARA, et que ce défaut ait conduit une surintensité sur l'une des phases du câble d'alimentation. Cette surintensité a été détectée par les protections côté Enedis sans pouvoir éviter des dommages au niveau d'une boîte de liaison. Les onduleurs prennent le relais de l'alimentation pour maintenir les fonctions qui sont sur le réseau secouru dans l'attente de la mise en route du groupe électrogène.

Ce dernier démarre mais sa connexion au réseau n'est pas possible en raison de la défaillance du contacteur qui permet le couplage du groupe au réseau électrique interne.

Entretemps, vers 13h00, l'intervention d'ENEDIS permet de rétablir l'alimentation du site par basculement sur la ligne de secours mais des dysfonctionnements graves sur le tableau général ne permettent pas de réalimenter le site¹⁴.

À 13h50, les onduleurs sont déchargés et l'exploitant perd les systèmes de pilotage (perte des automates).

À 14h25, les techniciens de YARA réussissent finalement, après deux opérations de remplacement de contacteur (le premier étant lui aussi défectueux), le couplage du groupe électrogène et le site est ainsi à nouveau alimenté en électricité par le groupe électrogène de secours. Toutefois :

- L'alimentation ne s'opère pas convenablement car les onduleurs se sont mis en sécurité et doivent être réinitialisés ;
- Les vannes à commande pneumatique présentes sur les installations (chaudière, NASC, compression ammoniac), ne peuvent pas fonctionner car le seul compresseur alimenté par le réseau électrique de secours est en panne (compresseur sud).

À 16h25, le site est de nouveau alimenté électriquement et le compresseur d'air nord est connecté au réseau secouru. L'exploitant doit désormais s'atteler à la remise en service des automates, dont le fonctionnement a été stoppé subitement du fait de la perte d'énergie. Cette opération se fera progressivement, installation par installation (près de 7 heures d'intervention seront nécessaires).

Une des priorités consiste à remettre en service les moyens de production de vapeur pour éviter le refroidissement du NASC. À 17h05, le redémarrage de la chaudière 16 bar alimentant le bac NASC est effectif. Elle est exclusivement alimentée en fioul léger car une opération de maintenance en cours rend indisponible l'alimentation en fioul lourd. L'exploitant prendra conscience plus tard que la chaudière 44

¹⁴ En raison des dysfonctionnements constatés (traces d'arcs) et des risques électriques suspectés (bruits de crépitements au niveau du jeu de barres), l'exploitant considère que la réalimentation du site ne peut être effectuée immédiatement au niveau du tableau. La remise en service de l'alimentation générale se fera en plusieurs temps :

Le vendredi 29 mars :

- 17h45, des traces de suie sont constatées autour du disjoncteur HT 20Kv. Une demande de séparation du réseau à ENEDIS est faite, qui envoie un technicien sur place. Dans le même temps, l'astreinte Schneider Electric est contactée pour expertiser le tableau HT.
- A 21h34, le diagnostic conclut à la présence de trace d'amorçage sur transformateur de courant du disjoncteur. Toutefois le matériel est testé et fonctionnel. La décision est prise de faire les tests en tension le lendemain matin.

Le samedi 30 mars :

- 10h44 : réalimentation du tableau principal, identification d'un crépitements électrique qui entraîne la décision de l'arrêter pour nettoyage du jeu de barres et des connecteurs.
- 13h50 : l'alimentation est rétablie

bar était également secourue électriquement mais, après analyse, son redémarrage aurait potentiellement posé problème dans la mesure où elle avait été arrêtée en mode fioul lourd.

À 23h15, le prestataire est parvenu à redémarrer une bonne partie du système de conduite. La pompe de circulation du NASC redémarre, et la température n'est jamais descendue en deçà de la température critique de 110°C. Le compresseur d'ammoniac CP1 est quant à lui toujours en défaut d'automate.

Le lendemain, samedi 30 mars, l'exploitant doit encore reconnecter le site au réseau électrique d'ENEDIS et remettre en service la compression de l'ammoniac.

La remise en service du tableau général se fera en deux tentatives (10h40 et 14h00) compte-tenu de son état général. Celui-ci connaîtra une avarie importante quelques semaines plus tard¹⁵ mais sans conséquence puisque le système de secours onduleur / groupe électrogène du site fonctionnera parfaitement. La compression de l'ammoniac sera quant à elle rétablie vers 14h40.

Il ressort de ces éléments que l'événement est dû à la conjonction de la rupture d'alimentation du site et de la défaillance du contacteur de puissance du groupe électrogène qui n'a pas permis son couplage avant la perte des onduleurs et des automates programmables.

VI.2 Facteurs contributifs

Pour rappel, les facteurs contributifs sont des éléments qui, sans être déterminants, ont pu jouer un rôle dans la survenance, l'aggravation ou l'atténuation des conséquences de l'accident.

VI.2.1 L'état de vétusté des équipements non dédoublés

L'examen des installations ou des équipements dédiés aux utilités permet de voir qu'une attention particulière a été portée par l'exploitant à la question de l'autonomie et de la redondance¹⁶ : L'enquête a permis d'établir que la défaillance d'un tel niveau théorique de sécurité était due à l'accumulation de plusieurs pannes qui ont directement joué sur le cours de l'événement. Une telle accumulation de défaillances n'est ni le fruit d'une simple coïncidence, ni la résultante d'un acte délibéré mais la conséquence de l'état d'obsolescence général des installations et en particulier de certains organes non dédoublés (tableau général, contacteur) qui constituent des modes communs de défaillance. Si on ajoute à cela l'indisponibilité pour maintenance de certains équipements (compresseur d'air sud, alimentation en fioul lourd de la chaudière), on mesure le rôle prépondérant qu'a joué le vieillissement des équipements dans cet événement.

¹⁵ Le nouvel incident s'est produit fin mai.

¹⁶ 3 compresseurs d'ammoniac, 3 compresseurs d'air, 2 lignes d'alimentation du site depuis le poste source et 2 alimentations indépendantes pour la compression d'ammoniac, 2 chaudières de production de vapeur, un groupe électrogène général et un groupe électrogène dédié au compresseur d'ammoniac CP3, 4 onduleurs d'une puissance globale de 110 kVA.

VI.2.2 Un faible niveau de disponibilité des équipements

D'un point de vue formel, l'exploitant semblait s'être doté des moyens autonomes et des redondances suffisantes pour garantir le fonctionnement des équipements importants pour la sécurité y compris en cas de perte d'utilités (électricité, air comprimé, vapeur) :

- L'alimentation du site par deux lignes ENEDIS indépendantes, dont une est entièrement dédiée à l'alimentation de l'exploitant ;
- Le site est équipé d'un groupe électrogène et de plusieurs onduleurs ;
- La production de gaz comprimé est assurée par 3 compresseurs d'air dont l'un peut être alimenté par le groupe électrogène principal du site ;
- Le site dispose de 3 compresseurs d'ammoniac alors qu'un seul est nécessaire dans la situation dans laquelle se trouve le site au moment de l'événement. Ces compresseurs sont alimentés depuis le tableau général par deux lignes indépendantes. Un compresseur (CP1) peut être alimenté par le groupe électrogène du site et CP3 dispose de son propre groupe électrogène ;
- Le site dispose de deux chaudières qui fonctionnent en fioul lourd et léger. Elles sont secourues par le groupe électrogène ;
- Le site peut accueillir des groupes électrogènes mobiles supplémentaires.

Toutefois, au moment des faits, le niveau de redondance est fortement dégradé en raison de pannes ou d'interventions qui affectent certains équipements :

- Le seul compresseur d'air secouru par le groupe électrogène est inopérant ;
- Le compresseur d'ammoniac CP3 ne dispose plus d'alimentation principale et son alimentation de secours (groupe électrogène et démarreur) est inopérante ;
- La chaudière 16 bar fait l'objet d'une intervention de maintenance sur son alimentation en fioul lourd.

En outre certains équipements ne peuvent pas, par construction, être dédoublés (contacteur de puissance du groupe électrogène ou tableau général du site). Leur niveau d'obsolescence ne permet pas non plus de disposer de pièces de rechange en cas de panne.

Dans ce contexte, trois défaillances suffiront à provoquer l'accident : rupture de la ligne, la panne du contacteur du groupe électrogène et la panne (ancienne) du compresseur sud (cf. annexe I).

VI.2.3 Plan de suivi de l'obsolescence et de maintenance préventive insuffisant

Les rapports de contrôle et de maintenance des installations électriques permettent de disposer d'une vision assez claire et synthétique du niveau d'obsolescence des équipements et de l'état général de l'installation. Sur la base de ces informations et de l'état de connaissance rapporté par ses propres équipes, l'exploitant avait établi un plan de maintenance et de rénovation des installations électriques qui n'a pas permis d'éviter l'événement qui a affecté le site YARA.

VI.2.4 La mobilisation des équipes

Les personnels, en particulier ceux affectés à l'entretien des installations électriques, ont été particulièrement sollicités en raison de la multiplication des aléas techniques et de leur dispersion sur le site. Enfin, en dépit d'un contexte social marqué par l'annonce du plan de transformation du site, l'implication des salariés n'aura pas fait défaut lors de la gestion de la crise.

VI.2.5 La question des moyens humains et du risque d'érosion des effectifs

L'annonce de l'arrêt de certaines activités du site et la mise en œuvre d'un plan de départ volontaire des personnels a pu, et risque de générer plusieurs effets :

- L'érosion des effectifs renforcée par le gel de postes dans le secteur de la maintenance des installations ;
- La perte de la mémoire du fonctionnement du site et de son organisation technique ;
- Le report de certaines actions de maintenance compte-tenu de la charge de travail pour les équipes techniques restantes lors de période de mise à disposition des installations.

VI.2.6 La situation particulière du site

Le fait que l'usine soit partiellement arrêtée a joué favorablement dans le déroulement de l'évènement. Une perte d'utilité en phase de production d'acide nitrique ou d'engrais NPK aurait été de nature à augmenter les risques de dérive du process et les conséquences de l'accident.

VI.2.7 Le dispositif de neutralisation de l'ammoniac

Le laveur est l'ultime mesure de maîtrise des risques pour prévenir la montée en pression des réservoirs (et par voie de conséquence l'ouverture des soupapes de sécurité). Ce dernier a parfaitement fonctionné. Les personnels ont su rapidement prendre la décision de mettre en service cet équipement, ce qui a pu faciliter la gestion de la crise. Il ne nécessite aucune énergie pour fonctionner ce qui en fait un dispositif adapté en cas de perte des utilités. À cela, il convient de souligner la présence d'instruments de mesure de la pression en direct sur les réservoirs ce qui a permis de maintenir une surveillance en dépit de la perte des automates. On note que sa mise en service, bien qu'encadrée par une procédure interne, n'est pas subordonnée au déclenchement du POI.

VI.2.8 Le manque d'anticipation sur les séquences de redémarrage

La remise en service de l'alimentation électrique et plus généralement des installations a été retardée par la séquence de réinitialisation des onduleurs et de reprogrammation des automates. Ces deux aléas techniques, et en particulier celui concernant les onduleurs, semblent avoir été gérés au dernier moment lors de la remise en route des équipements concernés, ce qui a nécessité la mobilisation de compétences techniques externes.

VII. Enseignements de sécurité

VII.1 L'obsolescence des matériels électriques d'alimentation de puissance

Le rapport de maintenance électrique établi par le prestataire classe les matériels en trois catégories¹⁷ qui permettent d'évaluer la vulnérabilité de l'installation au risque de panne. En effet, une installation pourra d'autant plus facilement être entretenue qu'il existe sur le marché les pièces détachées disponibles. À l'inverse, l'absence de pièces détachées fait peser sur l'installation un risque élevé de rupture de service en cas d'avarie importante. Cette information est donc capitale pour élaborer un plan de maintenance et de rénovation de ses installations. Malgré son intérêt technique, la notion d'obsolescence n'a pas de portée réglementaire et n'emporte pas d'obligation de remise à niveau.

VII.2 La remise en service des installations

En cas de perte d'alimentation prolongée, les systèmes numériques de « contrôle commande » et les automates de sécurité sont des équipements dont la remise en route peut prendre plusieurs heures en fonction du niveau de complexité des équipements installés et des conditions dans lesquelles ces équipements ont cessé de fonctionner. Dans ce contexte, des sauvegardes des programmations et des paramètres de fonctionnement non sauvegardés des automates sont primordiaux et de nature à faciliter leur remise en service.

¹⁷ Ces trois catégories sont :

Commercialisé	Période de commercialisation - Fourniture de pièces de rechange garantie
Pièces détachées disponibles	Fin de commercialisation. Pièces de rechange disponibles pour une durée limitée
Obsolète	Retrait définitif. Aucune disponibilité de pièces de rechange

VIII. Recommandations de sécurité à destination de l'exploitant

Le BEA-RI émet les recommandations suivantes à l'attention de l'exploitant :

- Définir une stratégie de mise en sécurité du site visant à l'évacuation des potentiels de dangers encore présents (stock d'ammoniac, stock NASC, stock de matières dangereuses) en tenant compte des contraintes et des risques mis en lumière par l'accident : manque de fiabilité du réseau électrique interne, absence de redondance de certains équipements, érosion des effectifs qui met en fragilité les équipes, risque de dégradation du niveau de vigilance et de démobilisation des personnels ;
- Élaborer un plan de rénovation des installations électriques en cohérence avec le plan de transformation du site. En particulier, dans la perspective du maintien en service du stockage d'ammoniac, ce plan devra prévoir la rénovation de l'ensemble de l'alimentation électrique du stockage d'ammoniac et de son alimentation de secours, l'amélioration de la résilience des onduleurs et des automates de contrôle et de sécurité, et la sécurisation de la production d'air comprimé ;
- Etablir un état des lieux des automates nécessaires à la sécurité des installations et veiller à leur indépendance vis-à-vis de l'exploitation des installations ;
- Garantir la présence de personnels techniques nécessaires à la fourniture des utilités et l'entretien des installations ;
- Améliorer la procédure de déclenchement du POI, notamment en retenant des critères de déclenchement plus précoces (mise en service du laveur par exemple), et sa montée en puissance en créant la cellule de crise de compétences techniques en provenance du groupe ou des autres sites YARA pour améliorer la fonction anticipation ;
- Améliorer la procédure de gestion des eaux ammoniacales issues du laveur pour que la solution de confinement et d'analyse avant rejet soit le mode retenu par défaut.

IX. Annexe

Annexe 1	Synoptiques des défaillances - Illustration des modes communs de défaillances sur la compression d'ammoniac et sur le NASC.....	35
----------	---	----

Annexe 1 : Synoptiques des défaillances - Illustration des modes communs de défaillances sur la compression d'ammoniac et sur le NASC

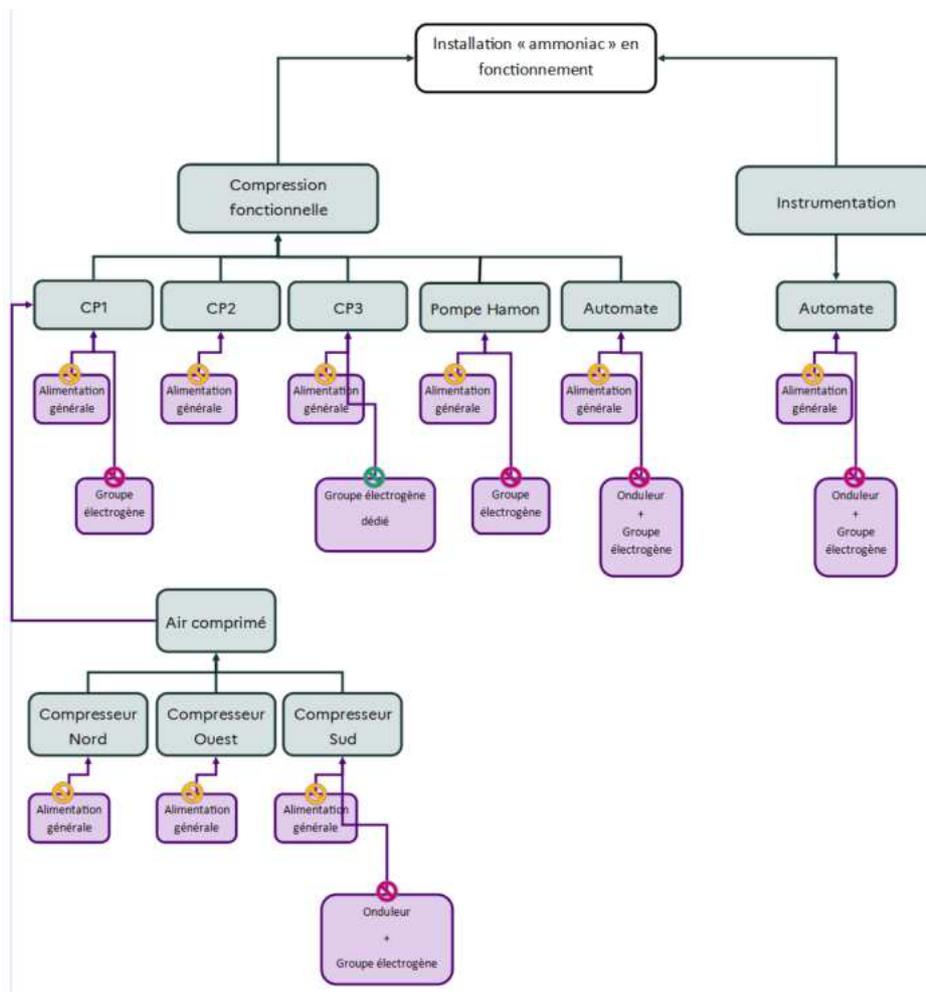


Figure 7 : synoptique des défaillances intervenues sur l'installation de compression d'ammoniac

	Défaillance câble d'alimentation et du tableau général
	Couplage du groupe électrogène non opérationnel
	Groupe électrogène non opérationnel

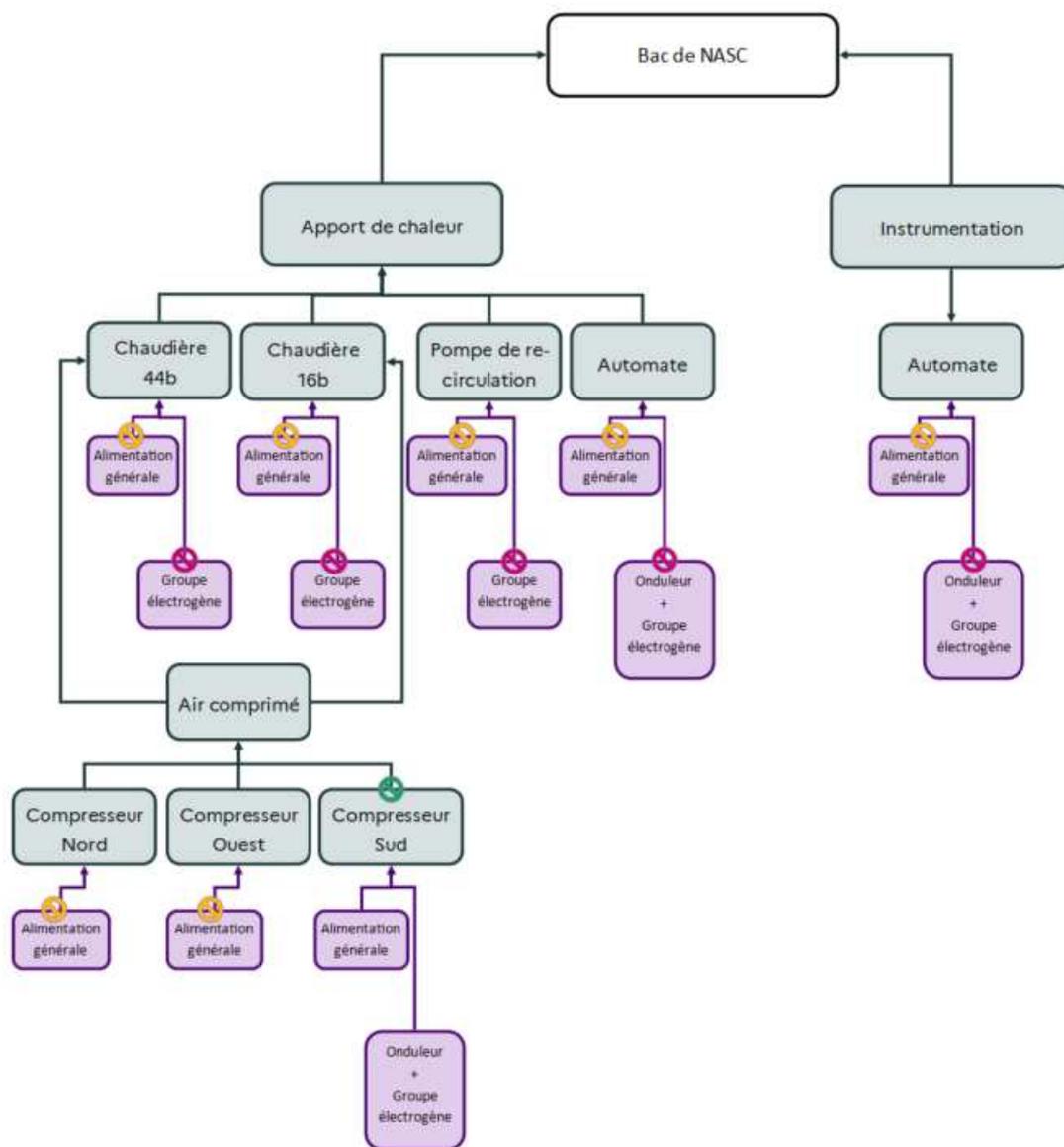


Figure 8 : Synoptique des défaillances intervenues sur l'installation de NASC

	Défaillance câble d'alimentation et du tableau général
	Couplage du groupe électrogène non opérationnel
	Compresseur d'air secouru non opérationnel



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Bureau d'enquêtes et d'Analyses
sur les Risques Industriels

MTECT / IGEDD / BEA-RI
Tour Séquoïa
92055 La Défense Cedex

+33 1 40 81 21 22
bea-ri.igedd@developpement-durable.gouv.fr

<https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/bea-ri-r549.html>