

PÉTROLE ET GAZ

Le goulot d'étranglement qui n'en était pas un

EXPLOITANT DE GAZ ACIDE

Un exploitant de gaz acide s'apprêtait à investir des centaines de millions dans la mise à niveau d'un terminal. Une simulation a révélé la vraie contrainte deux stations plus haut dans la chaîne, avant que le comité d'investissement n'approuve la mauvaise portée de travaux.

INTRODUCTION

Tout dirigeant des opérations finit par faire face à une décision où la réponse évidente est la mauvaise. Le goulot d'étranglement que tout le monde pointe n'est qu'un symptôme. Masquée par des interactions qu'aucun tableur ne peut résoudre, la vraie contrainte se trouve ailleurs dans le système. Les investissements se dirigent vers le problème visible, mais les objectifs de production continuent de ne pas être atteints.

Un exploitant de gaz acide a fait face à une telle décision. La question sur la table était de savoir comment absorber une hausse importante de la production de soufre en amont. La voie qui semblait évidente aurait engagé des centaines de millions au mauvais endroit dans le système. Le défi consistait à l'identifier avant que le comité d'investissement n'approuve les mauvais investissements.

LA DÉCISION

L'exploitant faisait face à une cible corporative ambitieuse. La production devait augmenter de façon importante et le demeurer pendant les 30 prochaines années. Le soufre accompagnait cette décision, que l'exploitant le veuille ou non, comme c'est le cas dans toute exploitation de gaz acide. Plus de gaz signifiait proportionnellement plus de soufre à déplacer, et si le soufre ne pouvait pas circuler, le gaz ne pouvait pas être produit. Le soufre lui-même avait une valeur commerciale comme matière première chimique, mais il s'agissait d'un enjeu secondaire. Le dossier devant la direction concernait la protection de la production de gaz.

Le mécanisme était simple. Si la chaîne logistique prend du retard, les usines de granulation manquent d'espace d'entreposage. Quand les usines de granulation manquent d'espace d'entreposage, les usines de gaz arrêtent de produire. Augmenter la production de gaz en amont signifiait déplacer beaucoup plus de soufre chaque jour, dans un système logistique déjà près de sa pleine capacité aux volumes actuels.

Le problème visible était le terminal d'exportation. L'entreposage se remplissait, les navires attendaient au quai, et le temps de nettoyage continuait de gruger la disponibilité. Chaque équipe d'opérations qui visitait l'installation arrivait à la même conclusion. Le terminal avait besoin de travaux, et ces travaux étaient attendus depuis longtemps. Une mise à niveau du terminal était la réponse naturelle.

La capacité ferroviaire était l'autre question en suspens. Les opérations utilisaient deux trains sur un réseau ferroviaire partagé, exploité par une entreprise distincte. Ajouter un troisième train signifiait négocier avec l'exploitant ferroviaire, recruter du personnel supplémentaire, et absorber une complexité opérationnelle que l'équipe n'avait pas à gérer jusque-là. Deux enjeux étaient sur la table de la direction : quand réparer enfin le terminal, et s'il fallait s'engager envers un troisième train. Aucune des deux discussions, prise isolément, ne menait à la réponse.

Les implications en investissement se chiffraient en centaines de millions, avec des engagements d'exploitation s'étendant sur le rail, le terminal et le transport maritime pour toute la durée de vie de l'actif. La direction devait déterminer quelle combinaison d'investissements permettrait d'atteindre la cible et laquelle absorberait du capital sans résoudre le problème.

Les tableurs ne pouvaient pas répondre à cette question. L'intuition non plus. Le système comportait trop de variables pour qu'un seul esprit puisse tout englober, et les interactions entre ces composantes masquaient le vrai goulot d'étranglement derrière celui qui semblait évident.



La chaîne logistique du soufre : production via le rail jusqu'au terminal d'exportation, avec des stocks tampons sur trois sites.

POURQUOI L'INTUITION NE SUFFISAIT PAS

Le système fonctionnait selon des horaires différents. Aucun ne s'alignait.

Les trains formaient la première horloge. Leurs temps de cycle dépendaient de la vitesse de chargement aux usines de granulation, de la vitesse de déchargement au terminal, des règles de quart des conducteurs, et des fenêtres d'entretien planifiées que l'exploitant pouvait influencer, mais non contrôler. L'équipement tombait en panne selon son propre calendrier. Les empileuses-récupératrices restaient hors service pendant des semaines, les convoyeurs se bloquaient, et les chargeurs de navires brisaient. Chaque panne se répercutait différemment selon ce qui se passait ailleurs dans le système.

Les navires étaient l'autre horloge. Un navire au quai qui chargeait lentement retenait le poste plus longtemps, retardant le navire suivant, qui retardait à son tour le prochain. Les taux de chargement variaient grandement selon le navire, la météo, et selon que les changements d'écoutille du navire précédent avaient pris plus ou moins de temps que prévu. Le taux de chargement moyen ressemblait à un simple chiffre sur papier. Ce chiffre cachait beaucoup de choses.

Les stocks sur les trois sites évoluaient en sens inverse les uns des autres. Le terminal de déchargement se remplissait quand les navires étaient lents et se vidait quand les trains étaient lents. Les usines de granulation se remplissaient quand le terminal était lent et se vidaient quand les trains rattrapaient le retard. Un tableur pouvait calculer des moyennes, mais ne pouvait pas montrer ce qui se passait quand une empileuse-récupératrice tombait en panne pendant un arrêt d'entretien trimestriel, alors qu'un chargeur de navire était hors service pour réparation.

Les équipes d'opérations connaissaient le système intimement, mais chacune dans son propre domaine. Les opérations ferroviaires connaissaient le segment ferroviaire, l'équipe du terminal connaissait le terminal, et le bureau d'expédition connaissait l'expédition. Ce que personne n'avait, c'était un moyen de tester les interactions entre les fonctions avant que la réalité ne les teste elle-même.

CE QUE LE MODÈLE DEVAIT RÉPONDRE

Trois questions ont guidé l'analyse.

Deux trains pouvaient-ils atteindre le débit cible minimal? Les opérations fonctionnaient avec deux trains. Si c'était possible, l'exploitant pourrait reporter la décision du troisième train. Si ce n'était pas le cas, le troisième train devenait une condition préalable à tout le reste.

Trois trains pouvaient-ils rétablir le système après un incident? Lorsqu'un problème survenait, le soufre s'accumulait aux usines de granulation pendant que la chaîne gérait la perturbation. Une fois l'incident résolu, le système devait fonctionner au-dessus des taux normaux pour reprendre le retard avant qu'un autre incident ne survienne. Un système qui se remplissait plus vite qu'il ne se vidait prenait de plus en plus de retard à chaque incident. Si trois trains ne pouvaient pas réduire l'entreposage assez rapidement, l'exploitant devait savoir quoi changer d'autre.

Quels scénarios d'incident forceraient l'arrêt des usines de gaz, et combien de temps prendrait le rétablissement? La question la plus importante. L'exploitant devait savoir quelles combinaisons le système pouvait absorber, lesquelles exigeaient des mesures d'atténuation déjà en place, et lesquelles n'avaient aucune atténuation acceptable.

Chaque question nécessitait une réponse que l'exploitant pourrait défendre devant l'examen minutieux du comité d'investissement.

LES QUATORZE SCÉNARIOS

L'équipe des opérations de l'exploitant est arrivée avec une liste. Quatorze événements précis qu'ils redoutaient en exploitation normale. Chacun avait déjà été observé sous une forme ou une autre, ou s'en était approché suffisamment pour ne pas être écarté. Cette liste reflétait l'inquiétude opérationnelle de gens qui connaissaient le système au quotidien.

Le modèle a testé chaque événement selon les trois questions de cadrage. Le système pouvait-il absorber l'événement sans forcer l'arrêt d'une usine de gaz? Combien de temps prenait le rétablissement? Qu'est-ce qui changeait selon que l'événement survenait en opération normale ou pendant le rétablissement d'un incident précédent?

Les scénarios se sont regroupés en sept catégories.

- **Entretien planifié du bâtiment de déchargement.** Quatre jours par trimestre. De routine.
- **Pannes des empileuses-récupératrices.** Testées par rapport à une base où deux des quatre unités étaient déjà hors service de façon permanente. Pannes d'une seule unité ou de plusieurs, de durées variables.
- **Pannes des tours de transfert.** Trois tours, chacune transportant le soufre entre le déchargement, l'entreposage et les chargeurs de navires. Chaque panne avait un impact distinct en aval.
- **Arrêts du bâtiment de déchargement.** Pannes non planifiées de sept et dix jours. Un scénario de trois semaines avec l'un des deux flux d'importation hors service.
- **Pannes des chargeurs de navires.** De quatre jours avec les deux chargeurs indisponibles à trois mois avec une seule unité hors service. La plus longue panne d'équipement unique de la liste.
- **Pannes des convoyeurs d'exportation.** Une et trois semaines, modélisées comme équivalentes aux pannes de flux des chargeurs de navires.
- **Dommages par collision maritime.** Un poste à quai hors service pendant un mois.

L’équipe de l’exploitant a choisi la liste. Le modèle a testé chaque élément.

CE QUE LE MODÈLE A RÉVÉLÉ

Chaque scénario que l’équipe des opérations avait inscrit sur la liste a été évalué à l’aide du modèle. Les résultats ont été classés selon quatre niveaux de gravité.

Surmontable sans intervention
Fenêtres d’entretien de routine. Aucune action au-delà de la pratique actuelle.

Surmontable mais coûteux
Pannes d’équipement unique. L’entreposage augmente, sans arrêt. A justifié l’ajout d’entreposage de débordement.

Scénarios critiques
Pannes multiples. Système à la limite. A justifié des correctifs en amont.

Non récupérable dans la configuration actuelle
Pannes les plus longues, pires pertes d’infrastructure. A mené à des recommandations d’investissement.

Quatorze scénarios classés selon quatre niveaux de gravité, chacun associé à une catégorie de recommandations distincte.

Le niveau de gravité augmente de haut en bas. L’équipe a choisi les scénarios; le modèle les a classés.

• **Surmontable sans intervention.** Les fenêtres d’entretien de routine se trouvaient dans cette catégorie. Le système absorbait la perturbation dans le cadre des pratiques d’exploitation, et le modèle l’a confirmé. Aucune recommandation n’a découlé de ces scénarios, au-delà de ce que l’équipe faisait déjà.

• **Surmontable mais coûteux.** Les pannes d’équipement unique et les pannes de plus courte durée se trouvaient dans cette catégorie. L’entreposage aux usines de granulation augmentait pendant chaque événement et les temps de rétablissement s’allongeaient, mais aucun scénario de cette catégorie ne forçait l’arrêt d’une usine de gaz. Le modèle a quantifié la marge d’entreposage restante à chaque site pour chaque scénario et a identifié les combinaisons qui réduisaient le plus cette marge. Les scénarios de ce niveau ont mené à la recommandation d’ajouter de l’entreposage de débordement sur trois sites.

• **Scénarios critiques.** Les pannes multiples et les arrêts de plus longue durée poussaient le système à la limite. L’entreposage se remplissait sur un ou plusieurs sites avant que le système ne puisse se rétablir. Le modèle a calculé le délai avant l’arrêt pour chacun de ces scénarios. Corriger les symptômes au terminal ne prolongeait pas significativement ce délai. Les scénarios de ce palier ont mené aux recommandations en amont : traiter la poussière aux usines de granulation, remplacer l’équipement dont la tâche avait dépassé les capacités, et prévoir l’exploitation à trois trains comme scénario de référence.

• **Non récupérable dans la configuration actuelle.** Les pannes d’équipement unique les plus longues et les pires pertes d’infrastructure n’avaient aucune atténuation acceptable sans investissement en infrastructure. Le modèle a simulé chaque scénario jusqu’au point de rupture du système et a rapporté les conditions ayant forcé cette rupture. Les scénarios de cet échelon ont mené aux recommandations en investissement.

Trois constats ressortaient de l’ensemble des catégories.

Deux trains ne pouvaient pas atteindre l’objectif minimal.

Le modèle a testé l’exploitation à deux trains contre toute combinaison raisonnable de temps de cycle ferroviaire, de disponibilité de l’équipement et de discipline opérationnelle. Le système plafonnait bien en dessous de l'objectif minimal de production dans chaque simulation. Les mathématiques constituaient la contrainte. Deux trains effectuant un cycle complet de chargement, transit, déchargement, entretien et changements de conducteurs ne pouvaient pas accomplir le cycle assez souvent pour livrer le tonnage quotidien requis. Même en réduisant le temps de cycle aux limites physiquement atteignables, le résultat demeurait insuffisant.

L’ajout d’un troisième train devenait une condition préalable à tout objectif dépassant les niveaux de production actuels.

Trois trains permettaient d’atteindre l’objectif supérieur, mais à la limite de ce qui était réalisable. Le rétablissement demeurait impossible.

L’exploitation à trois trains permettait d’atteindre l’objectif de production supérieur dans le modèle, mais le système fonctionnait à sa limite. L’occupation des postes à quai augmentait dans une plage laissant peu de marge pour les incidents maritimes que le modèle ne testait pas, comme les retards météorologiques et les pannes de navires. Le bâtiment de déchargement devait être disponible pratiquement en continu. L’entreposage aux usines de granulation se maintenait à un niveau plus élevé que souhaité, laissant une marge plus mince pour absorber le prochain incident.

Le rétablissement posait un tout autre défi. Pour résorber l’entreposage accumulé aux usines de granulation pendant un incident, le système devait fonctionner bien au-delà du niveau de production visé pendant une période prolongée. Le modèle plafonnait bien en dessous de ce taux, même avec trois trains à la limite extrême de faisabilité. L’atteindre exigerait une refonte complète du système. La configuration actuelle ne pourrait pas y arriver, quel que soit le taux d’utilisation.

Le goulot d’étranglement provenait de deux stations plus haut dans la chaîne.

Le problème visible se trouvait au terminal. La contrainte déterminante se trouvait deux stations plus haut, au niveau de la résistance des granulés.

Les équipes d’opérations savaient que le temps de nettoyage au terminal était excessif. Elles vivaient avec cette réalité depuis longtemps. Ce que le modèle a révélé, c’est la source de ce temps de nettoyage.



Deux stations plus haut dans la chaîne

Le problème visible se trouvait au terminal. La contrainte déterminante se trouvait deux stations plus haut, au niveau de la résistance des granulés.

Le bâtiment de déchargement au terminal était le problème visible. Il tombait régulièrement hors service pour le nettoyage et fonctionnait sous les taux prévus à la conception. Son équipement tombait en panne plus souvent que les spécifications d'origine ne le laissaient supposer. Les preuves quotidiennes pointaient clairement vers le terminal, et les équipes qui y travaillaient le signalaient depuis des années.

Le modèle a remonté à l'origine des défaillances. L'équipement le long de la chaîne ne pouvait pas traiter le soufre aux volumes requis sans générer une poussière excessive. Le nettoyage de cette poussière au terminal consommait environ le quart de la disponibilité du système. La poussière était le résidu des granulés qui s'étaient dégradés tout au long de la chaîne de manutention. Le chargement, le transit et le déchargement contribuaient chacun au stress mécanique, et les granulés dont la résistance tombait sous les spécifications de conception se dégradaient. Les usines de granulation produisaient ces granulés. Le système d'extraction de poussière du terminal avait été dimensionné pour des spécifications de produit que la chaîne ne parvenait pas à maintenir.

L'équipe de granulation n'avait aucun signal à la production indiquant un problème. Leur produit passait les tests de production. L'équipe du terminal voyait arriver les fines et signalait que le terminal était défaillant. Aucune des deux équipes n'avait la visibilité que le modèle a révélée : la résistance des granulés à la production était la variable contrôlant le temps de nettoyage au terminal.

Le même phénomène se retrouvait dans les autres enjeux majeurs de fiabilité. Empileuses-récupératrices, tours de transfert, convoyeurs. Chacun avait été spécifié pour une fonction isolée. Chacun fonctionnait désormais dans un environnement que sa conception d'origine n'avait pas anticipé, façonné par des conditions en amont et en aval contre lesquelles le système n'avait jamais été testé.

La simulation a produit des indicateurs comparatifs. Les valeurs n'étaient pas absolues. Un lecteur cherchant une prévision précise de la capacité du système à partir d'une seule simulation interpréterait mal le travail. Les constats qui comptaient étaient directionnels et structurels : quels scénarios le système pouvait absorber et lesquels il ne pouvait pas, et où se trouvaient les contraintes déterminantes. L'équipe de l'exploitant a compris cette distinction et a utilisé les constats comme le modèle l'avait prévu.

Une mise à niveau du terminal seule n'aurait pas permis d'atteindre les objectifs de production. La solution devait couvrir quatre systèmes d'exploitation : la qualité du produit aux usines de granulation, le temps de cycle ferroviaire, la fiabilité du terminal et le débit de chargement des navires. Chacun était déterminant. Aucun n'était suffisant à lui seul.

LES RECOMMANDATIONS

Les recommandations ont suivi la structure du modèle. Quatre systèmes d'exploitation, chacun traité selon ses propres termes, chacun lié à une décision précise que l'exploitant devait prendre.

Réduire la génération de poussière à la source.

Les systèmes de gestion de la poussière du terminal avaient été prévus pour une charge plus faible que celle provenant des usines de granulation. Le nettoyage après déchargement consommait à lui seul environ le quart de la disponibilité du terminal. La qualité du produit au point de chargement était la contrainte déterminante.

Évaluer la production des usines de granulation pour détecter la poussière et les grumeaux avant que les wagons ne quittent la cour de chargement, et investir dans le tamisage, le conditionnement et la manutention pour réduire la génération de poussière à la source. Le tamisage permettrait aussi d'éliminer les grumeaux qui ralentissaient le déchargement à l'arrivée. Les systèmes de collecte de poussière en aval au terminal devaient quand même être remplacés, incluant des déflecteurs dans la grille de déchargement et un système d'extraction de poussière correctement dimensionné, mais comme travaux de second ordre.

Remplacer, ne pas réparer.

Environ vingt éléments d'équipement à travers le système affichaient une disponibilité bien inférieure à ce que promettaient leurs spécifications d'origine. Les spécifications ne correspondaient pas aux tâches qu'on leur demandait d'accomplir. Les systèmes de poussière du bâtiment de déchargement

avaient été conçus pour un profil de charge différent. Certains choix d'installation rendaient les systèmes plus difficiles à entretenir qu'ils ne devaient l'être. Le scénario se répétait de façon constante dans toute la liste.

La recommandation consistait à mandater une revue technique compétente de chaque élément, à déterminer si le mode de défaillance reflétait l'usure, la conception ou l'environnement, puis remplacer ou reconcevoir l'équipement en conséquence. Un remplacement identique reproduirait les mêmes pannes. La formation des opérateurs sur les nouvelles configurations a été prévue en parallèle des travaux sur l'équipement.

Ajouter de l'entreposage de débordement sur trois sites.

Même avec la correction des quatre systèmes, certains incidents continueraient de pousser les niveaux d'entreposage au-delà de la capacité actuelle pendant de courtes périodes. Le modèle a montré quels incidents, à quels sites, et pour combien de temps. La recommandation était d'ajouter un entreposage temporaire de granulés aux deux usines de granulation et au terminal, dont la capacité permettrait de faire face aux pires scénarios identifiés par le modèle. L'entreposage de granulés était moins coûteux que de bloquer le soufre ou de construire de nouvelles infrastructures permanentes, et il donnait au système le temps de traverser des événements qui, autrement, forceraient l'arrêt des usines de gaz.

Réduire le temps de rotation des navires.

Le temps de rotation des navires s'était déjà amélioré par rapport aux références antérieures. Les équipes d'opérations l'avaient réduit progressivement avec le temps. Le modèle a montré que des réductions supplémentaires étaient possibles et allégeraient la pression du côté exportation du système. Des cadences de chargement plus élevées, moins de temps d'arrêt au quai et une meilleure coordination des changements d'écoutille et des inspections de tirant d'eau pourraient ramener le temps de rotation à une plage faisant passer l'occupation des postes à quai d'un état de tension à un état soutenable. Chaque heure économisée était une heure supplémentaire que le système pouvait consacrer à résorber l'entreposage après le prochain incident.

Planifier l'exploitation à trois trains comme scénario référence.

Trois trains constituaient une condition préalable pour les objectifs de production. La planification existante de l'exploitant traitait les trois trains comme un mode de récupération, utilisé occasionnellement pour résorber l'entreposage après des incidents. La recommandation consistait à inverser cette approche et à faire des trois trains le modèle d'exploitation normal. Le travail de négociation avec l'exploitant ferroviaire, de recrutement de conducteurs supplémentaires et de refonte du cadre de planification devait commencer immédiatement, car rien d'autre dans l'ensemble de recommandations ne permettrait pas d'atteindre les objectifs de production visés.

Les recommandations sont arrivées sous forme de plan d'investissement séquencé, chaque élément étant lié à un mode de défaillance opérationnelle précis que le modèle avait quantifié. Le comité d'investissement disposait de ce dont il avait besoin pour engager le capital là où il permettrait d'augmenter les volumes traités, et pour reporter ou rejeter les éléments qui ne le feraient pas.

RÉSULTATS

- Comité d'investissement éclairé avant d'engager des centaines de millions de dollars.
- Goulot d'étranglement retracé deux stations plus haut que l'endroit pointé par chaque équipe d'opérations, révélant une contrainte déterminante qu'aucune fonction isolée ne pouvait voir.
- Exploitation à trois trains identifiée comme condition préalable pour tout objectif de production supérieur aux niveaux actuels.
- Quatorze scénarios d'incident opérationnel classés en quatre niveaux de gravité, avec des valeurs de temps avant arrêt et une quantification de la marge d'entreposage sur les cas critiques.
- Ensemble de recommandations couvrant quatre systèmes d'exploitation, structuré comme un plan d'investissement que le comité pouvait approuver, reporter ou rejeter élément par élément.

CE QUI A SUIVI

Dans la période suivant l'étude, l'exploitant a pris les décisions que le modèle avait été conçu pour orienter la décision.

L'expansion en amont que l'étude avait testée a atteint la décision finale d'investissement. La hausse de production s'est traduite par des investissements majeurs. L'exploitation à trois trains est devenue la référence de planification de l'exploitant.

L'exploitant a lancé un appel d'offres pour une expansion de la capacité du terminal d'exportation. La portée publiée couvrait les systèmes d'exploitation que l'étude avait identifiés comme contraintes déterminantes : collecte de poussière, modifications du bâtiment de déchargement, drainage et intégration ferroviaire.

La documentation d'appel d'offres publiée par l'exploitant pour le projet nommait directement la cause en amont. Les problèmes de fiabilité au terminal découlaient de la manutention du produit et de systèmes de poussière que les volumes avaient dépassés. Le diagnostic de l'exploitant correspondait à celui du modèle. La portée du terminal traitait un symptôme que l'exploitant décrivait désormais dans les mêmes termes que ceux retracés par la simulation.

La chaîne transporte désormais les volumes auxquels l'exploitant s'était engagé.

CE QUE CE TYPE DE TRAVAIL PERMET D'OBTENIR

L'exploitant s'était engagé envers un objectif de production que la chaîne existante n'était pas conçue pour soutenir, sur une période de trente ans, alors que l'avenir de l'activité gazière dépendait de la capacité du soufre à circuler aux nouveaux volumes. La réponse évidente était de moderniser le terminal. Le problème visible semblait pouvoir se résoudre ainsi, et le comité d'investissement était prêt à financer les travaux.

Le modèle a montré que la modernisation du terminal seule n'aurait pas permis d'atteindre l'objectif. Atteindre l'objectif de production exigeait un investissement à travers quatre systèmes d'exploitation, et aucun d'entre eux n'aurait suffi seul. Les investissements prévus au terminal auraient mobilisé des capitaux importants sans permettre d'atteindre les objectifs de production en l'absence des correctifs en amont. Ces changements constituaient le travail qu'aucune équipe ne demandait, parce qu'aucune d'elles n'avait la visibilité nécessaire pour voir ce dont la chaîne avait besoin dans son ensemble. Le modèle a révélé cette combinaison.

La conversation sur l'investissement est passée de « devrions-nous moderniser X » à « quelle combinaison d'améliorations parmi X, Y, Z et W permet réellement d'atteindre l'objectif, et quelles combinaisons protègent la production en amont lorsque quelque chose tombe en panne ». Le modèle a placé des chiffres défendables devant la décision que le comité devait prendre.

SimWell aide les exploitants pétroliers et gaziers à voir le système dans son ensemble, avant que la réalité ne le teste. Nous construisons des modèles de simulation et d'optimisation ancrés dans la réalité opérationnelle, puis nous intégrons ce travail dans des décisions que la direction peut défendre.