

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <http://www.researchgate.net/publication/268872305>

DETECTION, PERTINENCE ET AMPLIFICATION DES SIGNAUX FAIBLES DANS LE TRAITEMENT DU RETOUR D'EXPERIENCE DETECTION, RELEVANCE AND AMPLIFICATION OF WEAK SIGNALS WITHIN THE LEARNING FROM...

CONFERENCE PAPER · OCTOBER 2014

DOWNLOADS

94

VIEWS

99

9 AUTHORS, INCLUDING:



Nicolas Dechy

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nu...

89 PUBLICATIONS 179 CITATIONS

SEE PROFILE



Sandrine Pierlot

Électricité de France (EDF)

6 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

SEE PROFILE

DETECTION, PERTINENCE ET AMPLIFICATION DES SIGNAUX FAIBLES DANS LE TRAITEMENT DU RETOUR D'EXPERIENCE

DETECTION, RELEVANCE AND AMPLIFICATION OF WEAK SIGNALS WITHIN THE LEARNING FROM EXPERIENCE

Jouniaux Pierre
Safety Line
Billy François, Pierlot Sandrine
EDF

Hadida David
LGM

Dechy Nicolas
IRSN
Parrennes Fabrice
RATP

Marle Leïla
GDF Suez
Rouvière Gilbert
CEA

Husson Didier
DCNS

Résumé

Dans les industries à risques où il est requis de prendre des décisions sur des bases incertaines, ambiguës et/ou contradictoires, l'exploitation des signaux faibles constitue une des pistes pour la gestion proactive des risques mais elle nécessite une réflexion quant à son opérationnalisation. Après une revue de l'état de l'art et de quatre cas d'accidents remarquables (Concorde, Three Mile Island, Paddington, Moorea), une nouvelle terminologie est identifiée. Elle s'inscrit dans une approche globale qui s'appuie sur l'ossature des dispositifs de retour d'expérience, des plus formels comme le traitement statistique de masses de données importantes (« big data »), aux plus informels comme l'écoute de lanceurs d'alertes. Son test sur un cas réel et des cas d'accidents permet d'ouvrir quelques perspectives concrètes.

Summary

In risk industries where it is required to take decision on basis that are uncertain, ambiguous and/or contradictory, the use of weak signals is one of the paths towards proactive risk management but it requires some thinking to operationalize it. After a state of the art and the analysis of four remarkable accidents (Concorde, Three Mile Island, Paddington, Moorea), a new terminology is identified. It inserts into a global approach that stands on the architecture of learning from experience systems, ranging from very formal ones such as statistical treatment of "big data" to more informal with the listening of whistleblowers. Its test on a real case and accident case enable to open towards a few practical perspectives.

1/ Introduction, points de départ, besoins opérationnels et démarche

A la suite d'échanges au sein du groupe de travail « Retour d'expérience technique » de l'IMdR piloté par F. Billy (EDF R&D), et à l'initiative d'A. Lannoy (IMdR), l'IMdR a lancé fin 2012 une étude sur la « *Détection et pertinence d'un signal faible dans le traitement d'un retour d'expérience* » (le projet P12-1) avec six souscripteurs (CEA, DCNS, EDF R&D, GDF-SUEZ, IRSN, RATP). Les principaux résultats de ce projet sont l'objet de cette communication.

L'objectif général de ce projet concerne la détection *a priori* d'un signal faible, avant qu'il ne dégénère et devienne un incident grave ou un accident majeur. Le point de départ fondateur du projet s'appuie donc sur un postulat. Il est à noter que certains chercheurs critiquent ce concept en considérant qu'il s'agit d'un piège intellectuel associé au « *syndrome de la sagesse après-coup* » (Reason, 1990), connu sous le nom de « *biais rétrospectif* » (Llory et al, 2007). Néanmoins, s'il est plus facile après-coup de retrouver des signaux avant-coureur, cela n'exclut pas le fait que de nombreux acteurs de terrain (opérateurs, ingénieurs), de managers, d'auditeurs et d'investigateurs peuvent reconnaître ces signaux avant un accident, par exemple à la raffinerie de Texas City avant l'accident de 2005 (Dechy et al, 2011).

Le concept des « signaux faibles » peut ne pas sembler nouveau au regard d'une documentation importante qui existe depuis un certain temps notamment sur la reconnaissance du signal faible et sur son analyse, a posteriori des accidents ou catastrophes. Signalons par exemple l'éruption du Vésuve ayant conduit à la destruction de Pompéï, l'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island (1979), l'accident de la navette Challenger (1986) voire plus récemment de celle de Columbia (2003). Néanmoins, s'il existe quelques recherches, peu de travaux ont focalisé sur l'opérationnalisation du concept dans un dispositif de détection a priori des signaux faibles à l'exception de la démarche d'EDF pour le parc nucléaire (Bringaud et Verges, 2008) ou de la RATP sur les précurseur des dangers.

Dans cette perspective, et au vu de l'expérience et des attentes des souscripteurs, il a été retenu que l'une des sources de signaux avant-coureurs devrait provenir du retour d'expérience (REX) des systèmes en exploitation, de fonctionnement et de dysfonctionnement, de la capitalisation de sa mémoire via ses acteurs et via des bases de données de REX. Cette approche n'est pas exclusive et est à compléter par d'autres démarches qui présupposent une formalisation moins accrue de certaines informations. Par ailleurs, au sein des processus de REX de systèmes industriels à haut risque on peut distinguer un nombre important de situations récurrentes, de faible amplitude, avec des conséquences limitées... Il convient donc d'examiner la pertinence de toutes ces situations en tenant compte du fait qu'après plusieurs années de capitalisation, ces bases de données de sécurité industrielle sont pléthoriques et posent des difficultés quant à leur exploitation (cf « big data »). Il s'agit d'un autre point de départ de l'étude.

Analyse du besoin des souscripteurs et démarche suivie

L'analyse des besoins des souscripteurs (par entretiens et questionnaires) a permis de préciser le contour fonctionnel et technique attendu d'une démarche globale de traitement des signaux faibles au sein du REX pour qu'elle soit applicable à leurs industries. Il ressort en particulier de l'analyse des besoins des souscripteurs :

- un attendu de généralité (tout type de causes : techniques, organisationnelles, humaines etc.),
- dans le cadre d'une organisation déjà établie (REX structuré),
- avec une décomposition autour d'étapes-clés (détection, pertinence, amplification),
- et l'appui de méthodes de traitement de base de données (statistiques etc.)

Ainsi la démarche globale, intègre des dispositions organisationnelles, des dispositions humaines associant des experts, et des dispositions plus techniques relatives au traitement des données, à rapprocher des conditions suivantes :

- l'existence d'une organisation industrielle propice à la mise en œuvre d'une démarche signal faible ;
- l'utilisation d'un réseau d'experts déjà établi et d'un processus de retour d'expérience existant et efficace ;
- l'accessibilité à des bases de données, structurées, de déclaration d'événements (techniques, organisationnels,...).

L'étude P12-1 de l'IMdR portant sur la « détection et pertinence d'un signal faible dans le traitement d'un retour d'expérience » a été ainsi décomposée en plusieurs tâches :

- Une revue de l'état de l'art et de la littérature scientifique et technique (chapitre 2),
- Une analyse de quatre cas d'accidents remarquables (chapitre 3),
- Une définition d'une terminologie pour caractériser les signaux faibles (chapitre 4),
- Une analyse des besoins des souscripteurs (ci-avant),
- Une proposition d'une démarche globale d'analyse des signaux faibles au regard de l'analyse des besoins (chapitre 5),
- Des recommandations de méthode pour outiller la démarche (chapitre 6),
- Et, une application de la démarche sur deux types de cas, un cas industriel et un retour sur les accidents (chapitre 7).

2/ Etat de l'art

Premières définitions

Le concept de signal faible est né des sciences de gestion notamment de la veille stratégique. Ansoff (1975) nomme signal faible une « *information d'alerte précoce, de faible intensité, pouvant être annonciatrice d'une tendance ou d'un événement important* », c'est-à-dire tout indice précurseur, parcellaire et fragmentaire, qui peut aider les entreprises à les prémunir de la « surprise stratégique ». Il oppose la capacité à détecter les signaux faibles (weak signals) à la planification stratégique qui par son exigence à collecter l'exhaustivité des informations disponibles représente un processus rigide et non adapté à un contexte concurrentiel et technologique de plus en plus mouvant.

Dans le domaine de la sécurité industrielle, ce concept était situé par un sociologue, Barry Turner dès 1978 après une analyse empirique de plusieurs dizaines d'accidents, comme étant des signaux non-reconnus, pendant la « **période d'incubation** » de l'accident ultime, en tant que tel en raison de cadres de représentation du risque peu ouverts. Reason (1990, 1997) opposera à la notion d'erreur « active » à conséquences immédiates, celle d'erreur ou **défaut latent** qui peut dormir longtemps dans le système et être révélé plus tard par une séquence accidentelle. A partir de ces notions, un **modèle d'accident ou une définition de l'événement** a été retenue (Dien, 2006, reprise par l'ESReDA, 2009 et l'INERIS, 2011) : « *Un événement est très rarement une « combinaison inattendue de circonstances » ou un « acte de dieu ». En effet, un accident arrive à la fin d'une période d'incubation (comme pour une maladie) pendant laquelle des événements, des signaux (faibles ou forts) surviennent et ne sont pas perçus et/ou traités de manière adéquate au regard de leur menace potentielle pour la sécurité.* »

Un premier constat porte sur le **flou relatif dans la définition du signal faible**, par exemple (Brizon, 2009) « *certaines qualifications récurrentes apparaissent autour de la notion de signaux faibles : ils sont difficilement interprétables, informels, improbables et souvent annonciateur d'un événement futur* ». Ce concept s'accompagne de plusieurs définitions qui se superposent à d'autres définitions (signaux rares, manquants et multiples, mixtes, de routine, faux signaux, signal d'alerte, d'alerte précoce, précurseurs, presque accidents, écarts, déviations, constats...) et qui sont reliées à de multiples concepts (ex. défaut latent, lanceur d'alerte, biais rétrospectif). Un second constat est la difficulté à trouver une terminologie exploitable qui serve de base à la caractérisation opérationnelle et précise d'un signal faible. La principale problématique autour du signal faible est la difficulté d'interprétation. Le signal faible est donc avant tout une production intellectuelle apportant du sens à de l'information, ce sens étant lui-même tourné vers l'idée des risques potentiels. En d'autres termes, la **faiblesse du signal n'est pas une donnée d'entrée mais relève déjà d'un construit individuel, collectif et social sur une information en devenir**.

Signaux faibles et information

La difficulté d'appréhender le concept de signal faible, vient du fait qu'il s'agit d'un **signal qui n'a pas encore le statut d'information, c'est une information en devenir**. Au début de la détection, il peut être considéré comme une intuition, un pressenti (cf par l'ingénieur Roger Boisjoly la veille du lancement de la navette Challenger), mais il n'est pas a priori un élément considéré comme déterminant pour prendre une action ou une décision relative à de forts enjeux comme ceux relevant de la sécurité industrielle. Seul un **processus d'objectivation** permet de transformer le signal faible en un degré d'information suffisant pour l'action ou la décision (cf. §4 analyse de sa pertinence).

Le signal faible a donc un fort potentiel informatif mais de faible intensité apparente car il peut ne pas être détecté en raison de l'absence de conséquences avérées. C'est ce qu'on appelle les faux négatifs : les signes utiles qui sont mis de côté car ils sont considérés comme inutiles ou bien qui ne sont pas détectés du tout étant **noyés dans du bruit**.

Une autre caractéristique du signal faible est qu'il a souvent **besoin d'être complété avec d'autres éléments** (autres signaux faibles, connaissances, informations...) pour pouvoir prendre son sens. Le fait que le signe ou signal soit fragmentaire, incomplet nécessite de mettre en place des méthodologies d'analyse et de recoupement de l'information.

On note à ce stade qu'il est donc supposé que la détection et la compréhension de la portée du signal faible ne dépendent que de l'exhaustivité de la collecte d'information, des méthodes d'analyse et de la bonne utilisation d'un savoir établi. Or, dans leur rapport, Viney et Kourilsky (2000) ont proposé de réserver l'appellation de « risque potentiel », objet du principe de précaution, aux cas d'hypothèses causales incertaines, d'où l'appellation « risque du risque » apposée sur ce concept. Si l'on veut positionner la gestion du « signal faible » en regard du principe de précaution, il conviendra de tenir compte de l'incertitude concernant les mécanismes ou les scénarios qui justifient la prise de décision (Merad, 2010).

On distingue traditionnellement l'**information formelle** et l'**information informelle** (Mintzberg, 1982). Pour certains chercheurs en sciences de gestion, l'échec de détection et d'interprétation du signal faible viendrait de son caractère informel. Les deux types et sources d'information sont nécessaires aux démarches signaux faibles.

Perception et détection des signaux faibles

Le contexte informationnel est composé de l'**environnement sensible**, c'est à dire les **signes perceptibles**. Il inclut également le système technique, l'ambiance de travail, qui découle de la culture d'entreprise et des relations de confiance qui s'instaurent entre collaborateurs. Le contexte inclut également le **récepteur**, c'est-à-dire ses propres expériences, connaissances et valeurs. Chacun donne un sens et une priorité à un signal en fonction des informations dont il dispose déjà et de sa propre expertise. Les informations sont « **filtrées** » par les acteurs et dépendent de leurs capacités cognitives (Leplat, 1968). La notion de **surprise** (Kooorneef, 1999) est partagée avec De Guerny et al. (1994), « *un signal faible l'est s'il permet de répondre par l'affirmative à la question : ce signal remet-il en cause l'état de mes connaissances, autrement dit, mes idées reçues sur un sujet donné ?* ». Enfin, trois qualités sont essentielles et complémentaires pour détecter les signaux faibles (Bliss et Allii 1998) : le **seuil d'intérêt** (distinction du signal du bruit), l'**attention** (signal fermé) et la **vigilance** (signal ouvert).

Collecte, diffusion, communication et lanceurs d'alertes

La mise en place d'un **processus de veille stratégique**, comporte deux présupposés, favorables à la gestion des signaux faibles (Caron-Fasan, 1998). Premièrement, le flux d'informations est considéré comme un cycle permanent, permettant l'apprentissage collectif et le recoupement d'informations. En effet, les données peu significatives prises individuellement, ne s'enrichissent que recoupées et agencées les unes par rapport aux autres. Deuxièmement, les informations circulent dans un processus qui intègre et coordonne tous les acteurs. Il permet l'**accumulation dynamique** qui donne sa valeur à l'information. Le processus comprend en outre plusieurs phases qui se répètent de manière itérative : *le ciblage, la traque, la sélection, la remontée de l'information, le stockage intelligent, le traitement de l'information, la diffusion*. La phase de sélection permet d'évaluer la pertinence des informations rattachées à un contexte. Là encore c'est le contexte qui permet d'évaluer la pertinence de l'information dans un processus décisionnel, c'est-à-dire en fonction de l'usage qui va être fait de cette information, de l'enjeu qu'elle peut soulever et des actions qui en découlent.

Dans le cadre de la communication entre acteurs, les **changements de perspective** sont favorables à l'interprétation du signal faible, **en multipliant les regards et les possibilités d'agrégation et de recoupement d'informations hétérogènes**. Un autre aspect à prendre en compte dans la transmission de l'information est sa **diffusion**, c'est-à-dire les procédés de communication favorisant l'exploitation des signaux faibles directement par les utilisateurs opérationnels. Certaines qualités de communication (précision, concision, degré de récurrence) favorisent la transmission de l'information et représentent un atout pour celui qui reçoit l'information. Les règles de communication peuvent être orientées et définies de façon globale dans une perspective décisionnelle, par exemple pour préciser le type d'information qui est prioritaire et sur la manière de la diffuser.

L'étude de nombreux accidents montre, qu'au préalable, une personne ou un groupe de personnes, avaient joué le rôle de « lanceurs d'alerte » (ex. Chateauraynaud et Torny, 1999) pour dénoncer une situation fortement dégradée qui présentait des conséquences potentielles importantes. C'est le cas par exemple de l'accident de Paddington. S'il existe une difficulté à décrypter les alertes pertinentes de la masse des fausses alertes, les **cassandres** peuvent ne pas être écoutés ou entendus (Dien et Pierlot, 2006, Bencheikroun, Pierlot, 2013). Néanmoins, de plus en plus, les entreprises organisent des voies de remontées d'information du terrain vers les directions stratégiques, en court-circuitant la structure organisationnelle, qui dans certains cas étouffent les alertes plutôt qu'elles ne les traitent. Il s'agit de la mise en place de réseaux de guetteurs, structures formelles ou informelles selon le cas, dont l'objet est de faire remonter des informations à une structure centrale qui dispose de moyens d'investigations et d'accès privilégiés aux décisionnaires (Bringaud et Pierlot, 2010). C'est le cas de l'Institut de Veille Sanitaire pour collecter les signaux précurseurs d'épidémies à maille régionale ou nationale ; c'est aussi le cas de dispositifs de cellule de veille pilotée par un risk manager dont le système de collecte est basé sur un réseau de personnes stratégiquement bien disséminées dans l'entreprise.

Signaux faibles et difficultés d'apprentissage : la piste du REX proactif et le traitement des échecs du REX réactif

Si le REX est considéré comme l'un des socles de la gestion de la sécurité-sûreté opérationnelle, y recourir pour traquer les signaux faibles peut sembler paradoxal. En effet, dans les organisations « hautement fiables » ou « ultra-sûres » (Amalberti, 1996, K. E. Weick et K. M. Sutcliffe, 2001), l'expérience est souvent exempte de conséquences catastrophiques. Ainsi les concepteurs et exploitants s'appuient massivement sur des démarches d'analyse des risques.

De manière globale, certains auteurs comme Reason (1997) ont évoqué l'importance pour la prévention des accidents, de la « culture juste » (Reason, 1997), c'est-à-dire l'instauration d'un climat de confiance où le personnel n'est pas sanctionné s'il signale ses erreurs, comme l'un des fondements du report d'anomalies et d'une « culture d'apprentissage ». Cependant, si la piste du REX est évoquée pour les signaux faibles, il s'agit plus souvent d'évoquer les capacités proactives de certains REX sur des presque accidents que celles des échecs du REX (Dechy, 2011, Brindejonc et Dechy, 2012). Ainsi E. Guillaume (2011) conclut *« qu'en analysant les systèmes de REX de cette manière, nous avons rejeté la formulation théorique des signaux faibles comme intrinsèquement faibles, et l'avons reformulé comme des signaux rendus ou restant faible par la manière dont ils sont traités au sein du système de REX de l'entreprise, avec leurs capacités de détection, codage, transmission et traitement des signaux »*. **Le rôle des défaillances du REX dans le traitement des signaux faibles et des signaux forts** (incidents) est partagé devant la persistance des accidents et des répétitions d'accidents notamment en raison d'échecs organisationnels du REX (Dechy et al, 2009). Les sources d'échecs du REX sont nombreuses, notamment dans les difficultés des analyses à atteindre et identifier les causes profondes organisationnelles (Dien et al, 2012), ou à chaque étape du processus REX (ex. politique de REX, détection, collecte, analyse, définition des mesures correctives, mise en œuvre, suivi, diffusion et mémorisation), ainsi que dans une formalisation inadéquate des flux d'information et données du REX qui entraîne une réduction et un appauvrissement de la réalité (ex. fiches REX relativement vides), et dans des difficultés à communiquer des résultats convaincants aux parties prenantes qui peuvent être moins réceptives. Au-delà de la nécessaire correction des échecs du REX pour mieux traiter les signaux faibles, ces auteurs ajoutent qu'il est possible de reconnaître les signaux faibles symptomatiques par l'usage de la connaissance capitalisée et culture des accidents (Dechy et al, 2010). En ce sens ils proposent une analogie avec le domaine médical, notamment l'usage de la connaissance des maladies pour le diagnostic des premiers signes cliniques à inférer aux symptômes d'une pathologie. Au-delà des événements, D. Pécaud nous avertit que, *« l'expérience pose des problèmes techniques et sociaux pour ceux qui tentent d'en reconstituer le contenu. Techniques du point de vue de la constitution des données, biais concernant les contenus et leur transformation en connaissance. Sociaux du point de vue des qualités de ceux qui sont chargés de recueillir des informations, de les transmettre, de les exploiter, du point de vue des facteurs d'influence attachés à la propriété et à l'exploitation des informations »*.

Pour ce qui est de la piste plus proactive, partant des résultats de l'observation HRO, K. E. Weick et K. M. Sutcliffe (2001) proposent un référentiel destiné aux entreprises pour qu'elles évaluent leur niveau d'attention (mindfulness). Les caractéristiques proposées font le lien avec certaines dispositions de vigilance aux signaux faibles dans le cadre de l'activité opérationnelle : préoccupation relative aux défaillances, refus de simplifier les interprétations, sensibilité aux opérations, engagement dans la résilience, déférence envers l'expertise. K. E. Weick est également à l'origine de la notion de « création de sens » (ou sensemaking), qui fait écho à celle de l'interprétation et de la reconnaissance qui sont des processus actifs d'enrichissement des signaux détectés. Cette notion a été réinvestie dans le champ de l'analyse des risques. Ainsi selon C. Macrae, *« l'identification des risques est un processus d'interrogation et de sondage des limites de la connaissance actuelle, en construisant et en augmentant les moments de doute. Ces doutes sont initiés par des modèles de construction du sens (sensemaking), modèles aux référentiels élargis permettant de lier entre eux des incidents organisationnels de manière à rendre les signaux faibles significatifs, pertinents et dignes d'attention »*.

Méthodes pour l'analyse des SF : traitement des données, couplage analyse de risque/REX et jugement d'experts

Il existe plusieurs méthodes de traitement des données qui peuvent être exploitées dans le cadre d'une démarche opérationnelle. Certaines sont d'orientation mathématique, et l'objectif est de discrétiser le signal du bruit (ex. exposant de Lyapounov, Jin et Zhang, 2011). La notion de signes précurseurs est utilisée en sismologie et la recherche d'informations

connexes comme des mesures sismiques est une stratégie. En matière industrielle, la surveillance de l'état des systèmes « Health monitoring » propose une approche comparable, par la reconnaissance de « motifs critiques » notamment par des algorithmes de « clustering ». Les méthodes envisagées reposent sur la centralisation d'informations éparées, la connaissance approfondie des phénomènes passés et un traitement des données en amont pour limiter la variabilité due aux conditions environnementales. Plus généralement, il existe de nombreux travaux approfondis en matière de traitement statistique de données temporelles, notamment dans le domaine de l'analyse fonctionnelle (Jacques J, Prada C, 2013). Par ailleurs le « traitement de données massives, ou **Big Data** » permet d'aborder le problème général de la fouille de données par apprentissage. Quoiqu'il en soit, il ne s'agit pas nécessairement d'automatiser la décision par des algorithmes, mais **d'en améliorer la qualité par des analyses de masses considérables de données et non plus d'échantillons appréhendables à l'échelle d'un expert.**

Ainsi, une fois les données pré-traitées par ces méthodes, il devient nécessaire d'identifier et de construire des liens entre ces données et les risques. Dans ce cas, **la démarche signaux faibles, d'anticipation des risques revient à réaliser un couplage entre le REX et l'analyse de risques.** Il s'agit alors de s'appuyer sur des experts et des démarches de jugement d'expert et d'analyse de risque pour lesquelles de nombreuses méthodes pourraient être citées. Une part importante des méthodes classiques d'analyse des risques utilisées par les ingénieurs impose un cadre rigoureux d'analyse qui ne semble pas le plus adapté à la recherche de lien avec des nouveaux risques. Si le collectif de travail qui y participe et l'exercice de brainstorming peuvent être en pratique plus ouverts et souples, les méthodes d'interrogation d'experts officialisent plus le recours aux avis d'expert qui est alors encadré et structuré. Des méthodes de prévention des sources d'erreurs ont également été développées par exemple autour des travaux de Reason. La méthode TRIZ qui s'appuie sur la nécessité d'imaginer des solutions innovantes pour résoudre des contradictions a été mentionnée. Dans le domaine du vieillissement des matériels fournisseurs de signes avant-coureur de dégradation, plusieurs applications des méthodes **d'élicitation des avis d'experts** ont été mentionnées (Marle, 2005, Lannoy, 2005, 2013). Elles reposent notamment sur un choix des experts à éliciter, des questions, une agrégation et modélisation des réponses des experts. Dans le domaine de l'anticipation du vieillissement, la démarche AVISE fait écho à certaines problématiques, comme l'évaluation de la pertinence avec un diagnostic de l'état de santé du matériel ou système à un instant t, ainsi qu'à celle de l'amplification du signal par la projection dans un avenir aussi bien temporel (évolution de la dégradation observée) que spatial (combinaison avec d'autres modes de dégradation pouvant apparaître). Dans notre cadre, **l'avis minoritaire lors de l'élicitation pourrait être le signal faible.** Si l'opinion minoritaire peut-être prise en compte, il est nécessaire de lier celle-ci avec des données objectives qui pourront contrebalancer le poids de l'opinion majoritaire.

Etat de l'art des approches signaux faibles dans diverses industries

Dans l'industrie nucléaire, le concept de **précurseur** est utilisé depuis plusieurs années et signale un presque-accident nucléaire (fusion) au regard du nombre de **lignes de défense restantes** avant ce risque redouté. Des analyses probabilistes sont réalisées et une collecte de ces incidents est organisée. Par ailleurs, une démarche dite « Signaux Faibles » a été déployée sur le parc nucléaire d'EDF (Bringaud et Verges, 2008) et elle s'appuie sur les notions **d'écarts** qui peuvent faire l'objet de constats qu'ils soient identifiés par le personnel de terrain ou les managers lors de leurs visites du terrain. Les analyses visent à interroger pour chaque constat, les risques potentiels, les origines du dysfonctionnement, les lignes de défense sollicitées, puis à rechercher périodiquement au travers des analyses d'échantillons de constat, des tendances, des inflexions, des récurrences.

Dans le domaine ferroviaire, notamment à la RATP (Parrennes, 2013), une démarche précurseur est utilisée et fait ainsi écho à la démarche précédente. Elle s'appuie sur une démarche d'analyse de risques et un certain nombre de précurseurs d'accidents potentiels sont ainsi suivis dans la durée par des indicateurs et des tableaux de bord.

Dans le domaine aéronautique, le caractère international de collecte du REX est nettement plus marqué (réglementation internationale de l'OACI avec l'ADREP, Accident Data Reporting). En Europe, le logiciel ECCAIRS permet de coder les données et l'analyse des défaillances sur la base d'une **taxonomie commune**. Si historiquement, les boucles de REX étaient tournées vers la conception dans le cadre de démarche de certification, les nouvelles exigences réglementaires qui ont introduit les systèmes de management de la sécurité renforcent le suivi proactif de l'exploitation. Certaines démarches innovantes relèvent **de l'étude du fonctionnement normal** et d'enquêtes en vol (audit LOSA), d'autres de canaux complémentaires de collecte moins filtrés par les voies hiérarchiques (**déclaration anonyme** à Air France), de démarches de **traitement automatique des textes en langage naturel** (CFH 2013, cf. projet IMdR P10-5), ou d'exploitation de bases de données massives des données de vol (Safety Line).

Conclusions de l'état de l'art

Cette revue de l'état de l'art met en exergue que le terme de signal faible n'est pas univoque. Dans certains cas, il s'agit en effet d'un signe neutre qui n'a pas encore révélé les conséquences potentielles qu'il pourrait avoir sur la sécurité (il pourrait s'agir de l'usure d'un câble de la chaîne de profondeur dans le cas du Twin Otter de Moorea, une simple usure ne pouvant pas avoir de conséquences catastrophiques). Au quotidien, il s'agit **d'informations éparées et fragmentaires qui n'ont pas encore été reliées pour faire sens et apparaître comme pertinentes.** Mais on remarque que ce sont **des événements relativement significatifs, dont l'organisation n'est pas à même d'évaluer la portée.**

Il ressort en outre de cette analyse que les différents processus peuvent se structurer autour de trois phases itératives : détection d'un signal faible, évaluation de la pertinence de ce signal, amplification et prise de décision. Ces processus reposent, aujourd'hui, sur des méthodes qui vont de l'analyse statistique de données, au travers notamment de nouvelles techniques de fouille de données issues du monde des Big Data, à des approches gestionnaires et sociologiques de veille et d'écoute pour capter l'informel dans une organisation. L'analyse des pratiques dans les industries, montre une volonté de prise en compte des signaux faibles au sein du processus de REX. Celui-ci se base sur l'utilisation de données structurées ou des approches basées sur l'expertise pour la modélisation de certains risques (notamment quand il s'agit de vieillissement). Il est intéressant de noter que peu d'exemples d'utilisation conjointe, et réfléchie, des deux approches sont disponibles dans la littérature.

De plus, on trouve peu de travaux s'appuyant sur la structuration de l'information et son enregistrement à des fins de capitalisation de l'expérience. En particulier, peu de résultats sont disponibles dans le domaine public sur le traitement consolidé des données du REX ou alors ces analyses de second niveau sont générales (classifications de causes, récurrences de barrières sollicitées). Enfin, seules les plus récentes méthodes basées sur l'expertise semblent convenir à une démarche d'anticipation, nécessaire au traitement de signaux faibles, dans la phase où l'on cherche à « imaginer » des conséquences.

Il ressort enfin qu'il n'y a **pas de méthode unique** qui permette de mettre en place une démarche « signal faible » dans une organisation. Chaque industrie a ses spécificités et il faudra sans doute recourir à un **assemblage de bonnes pratiques** pour atteindre cet objectif. De plus il conviendra de recourir à des dispositifs d'organisation du travail et des flux d'information, à des dispositions de communication et procédures de formalisation particulières et à des dispositions opérationnelles pour agréger les informations et articuler le retour d'expérience avec l'anticipation des risques.

3/ Etude de cas d'accidents remarquables

Les accidents qui ont servi de support dans l'étude étaient au nombre de quatre : Concorde (2000), Air Moorea (2006), Three Mile Island -TMI (1979), Paddington (1999). L'accident du Rio-Paris (2009) a été utilisé par ailleurs.

Dans les accidents qui ont été abordés deux catégories se dessinent au regard du signal faible :

- *type a* : Ceux (TMI, Paddington) pour lesquels il existait des précurseurs et des donneurs d'alerte mais qui n'avaient pas été pris en compte par les organisations (constructeurs, exploitants, autorités de contrôle de pays différents). Plus que la détection c'est la pertinence ou l'amplification à l'échelle de l'organisation qui n'avait pas fonctionné.
- *type b* : Ceux (Concorde, Moorea) pour lesquels le scénario d'accident n'a pas pu être anticipé et le problème résidait dans la détection ou la pertinence.

La possibilité d'anticiper des accidents du *type b* semble plus difficile. Au contraire, le *type a* a contribué à renforcer la notion de signal affaibli par plusieurs mécanismes organisationnels défailants ou absents, dont certains appartiennent à la catégorie des échecs du REX.

Tableau 3: Types de « manquements » organisationnels et dans la gestion des risques ayant permis l'accident

	Concorde	Moorea	TMI	Paddington
Scenario d'accident inconnu	X	X		
Absence de donneur d'alerte identifié	X	X		
Lanceur d'alerte non écouté			X	X
Ressources insuffisantes pour la gestion de la sécurité	X			X
Manque de centralisation/partage du REX		X	X	X
Atténuation du signal par l'organisation	X		X	X
Actions humaines inappropriée			X	X
Défaillance dans la conception	X	X	X	X
Défaillance dans la phase exploitation-maintenance		X	X	

4/ Proposition d'une terminologie

Toute information captée par une organisation industrielle n'est pas un signal faible. Celui-ci n'est à rechercher ni dans l'amplitude de l'information ou signal d'entrée, ni dans la nature de l'information (formelle ou non). **Il ne s'agit pas d'une propriété intrinsèque d'une information mais extrinsèque.** C'est le rattachement entre cette source et un scénario de sensibilisation au risque qui fait le signal faible. Il s'agit d'un construit individuel, collectif et social. Dans le cadre de notre étude, on considère également qu'il est potentiellement critique pour les enjeux de la maîtrise des risques.

Par conséquent pour définir une information comme signal faible il apparait nécessaire d'être en mesure de la positionner :

- en lien avec un scénario de défaillance au regard du savoir scientifique et technique disponible ;
- en lien avec un scénario de variation voire de dégradation de la maîtrise des risques.

On se rend dès lors compte du caractère dynamique, vivant, et spéculatif du signal faible. A mesure que se forment des scénarii, des informations jusqu'alors inutilisables deviennent des signaux faibles. Une fois les signaux faibles reliés à un scénario, ces informations relationnelles doivent s'inscrire dans un traitement classique et être considérés comme des signaux forts. La faiblesse du signal ne dépend ni de son éloignement avec le scénario, ni de la faible probabilité de matérialisation du scénario. Au contraire, elle réside dans la capacité du système, au stade de la décision, à mettre en perspective une information révélée avec un ou plusieurs scénarii parmi un grand nombre.

On peut alors **proposer la définition** suivante d'un signal faible : « *Donnée de source formelle ou informelle qu'une organisation saurait positionner dans un scénario de défaillance ou d'affaiblissement vis-à-vis de la maîtrise des risques critiques (fort du savoir scientifique, technique et professionnel)* ».

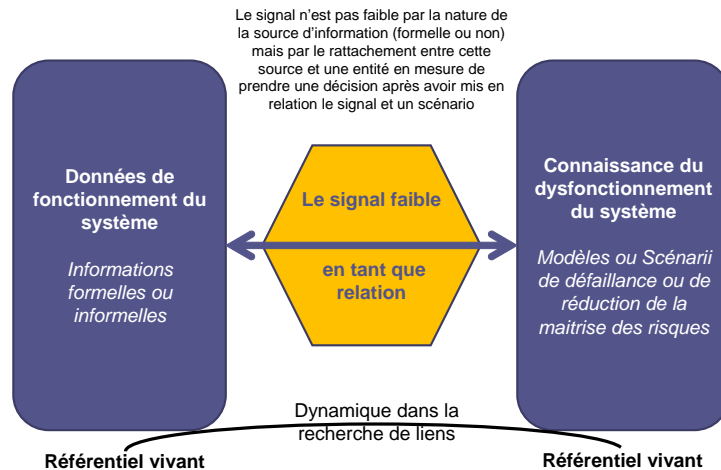


Figure 1 : Illustration de la terminologie associée au signal faible

Caractérisation du signal faible

Cette définition d'un processus actif s'appuie sur trois étapes :

- **Détection** : identification d'un lien entre une information et un ou plusieurs scénarii de sensibilisation au risque ;
- **Pertinence** : qualification des relations vis-à-vis de risques critiques pouvant découler de ces scénarii de sensibilisation ;
- **Amplification** : confrontation du signal faible avec les objectifs de sûreté et les moyens servant à assurer leur maîtrise.

Il apparait alors que la phase de détection ne peut pas rigoureusement être dissociée de celle de l'évaluation de la pertinence, car le signal faible n'existe pas s'il n'est enrichi de son interprétation. La phase d'amplification ne peut également être dé-

corrélée de l'analyse de la pertinence, l'interprétation de l'information étant associée aux enjeux et objectifs de la maîtrise des risques.

Une caractéristique majeure dans le traitement du signal faible apparaît alors dans la double capacité à enrichir à la fois :

- la base de connaissance du système dans ses fonctionnements et dysfonctionnements.
- la base de remontée d'information sur le fonctionnement courant du système.

Sont présentées ci-après quelques définitions connexes au signal faible.

- **Donneur d'alerte** : Individu ou groupe d'individus, souvent minoritaire(s), qui tente(nt) d'attirer l'attention sur un risque potentiel.
- **Sensemaking** : Modèles de construction du sens aux référentiels élargis permettant de lier entre eux des incidents organisationnels de manière à rendre les signaux faibles significatifs, pertinents et dignes d'attention. Il s'agit d'un processus actif d'enrichissement des signaux d'entrée qui correspond à la notion de création d'une relation introduite dans notre terminologie.
- **Signal d'alerte** : Résultat du traitement d'un ensemble d'informations permettant de faire émerger la probabilité de réalisation d'un événement (par exemple un risque).

5/ Proposition d'une démarche globale

La terminologie proposée précédemment reste à être intégrée dans le cadre d'une démarche globale de traitement des signaux faibles dans le processus de retour d'expérience. Tout d'abord, il s'agit d'énoncer les principes organisationnels fondateurs d'une telle démarche. Ensuite, d'un point de vue plus opérationnel, les activités à mener pour chacune des trois phases-clés (détection, pertinence et amplification) sont décrites.

5.1. Préalables organisationnels

Engagement de la direction et politique de culture de sécurité/sûreté

Si l'exemplarité et l'engagement des instances dirigeantes est prioritaire dans l'atteinte d'une culture de sécurité/sûreté (INSAG 4 de l'AIEA dans le nucléaire), celle-ci implique que **le personnel prenne une part active dans la gestion quotidienne de la sécurité de l'entreprise**. De ce fait, chaque employé est encouragé à être **vigilant** (« attitude interrogative ») à tout signe de dégradation de la sécurité et à rendre compte en conséquence. Selon Reason (1997), la culture de la sécurité est axée sur les éléments suivants : équité, confiance pour signaler ses erreurs, apprentissage, information et flexibilité.

Mise en place des canaux de retour d'expérience et de collecte des données

Il est fondamental que l'organisation mette en place des canaux efficaces de remontée d'information, dans le cadre favorable de la culture de sécurité énoncé plus haut. En effet en **l'absence de données en qualité surtout et dans une moindre mesure en quantité suffisantes**, la démarche sur le signal faible est impossible, et ce à tous les stades. Une attention particulière doit être apportée à la captation d'éléments représentatifs du contexte qui permettent de donner du sens aux données collectées. La pauvreté de certaines bases de données peut donc nécessiter de mettre en œuvre des dispositifs complémentaires de collecte de données sur les terrains (opérationnel, managérial, conception). **Si l'objectivation des données est un exercice essentiel et prioritaire, il ne doit pour autant conduire à exclure les informations plus subjectives comme les perceptions, les questions et les doutes** des acteurs de terrain ou experts. Ainsi des zones de texte libre dans les bases de REX sont nécessaires tout comme des canaux spécifiques dédiés aux remontées spontanées d'information.

Modélisation nécessaire du risque organisationnel

L'étude historique des accidents montre que l'analyse de premier niveau qui consiste à attribuer des causes directes et immédiates à l'accident (défaillances techniques et/ou erreur humaine) n'est pas suffisante. En réalité, ces causes directes peuvent être induites, accélérées ou aggravées par des facteurs sous-jacents de type humain, sociétal ou organisationnel, l'accident survenant au terme d'une longue période d'incubation (suivant la métaphore médicale de l'accident). Ainsi certains facteurs de risques, comme la dégradation du climat social ou les phénomènes de pression de production, ont été reconnus comme causes récurrentes des accidents (Dien, 2006, Rousseau et Largier, 2008, Llory et Montmayeul, 2010). **La connaissance du risque organisationnel permet alors de mettre en place les barrières de sécurité adaptées et dont l'efficacité peut être mesurée**. Un certain nombre de méthodes existent dans le champ de la recherche et peuvent permettre de mener ces activités, citons par exemple celles de Reason (Manager), de Pate-Cornell, MORT et Accimap.

5.2. Mise en œuvre opérationnelle

La mise en œuvre opérationnelle de la démarche globale consiste alors à combiner des étapes de fouille de données et de recours à l'expertise tout au long d'un processus que l'on a décomposé selon les trois phases de détection, pertinence et amplification et en associant des activités précises à chaque phase. Le cheminement que l'on présente ici illustre les différentes phases associées à la démarche globale en lien avec la terminologie proposée du signal faible. La pyramide (dite de Bird ou d'Heinrich) symbolise la hiérarchisation du risque et des incidents :

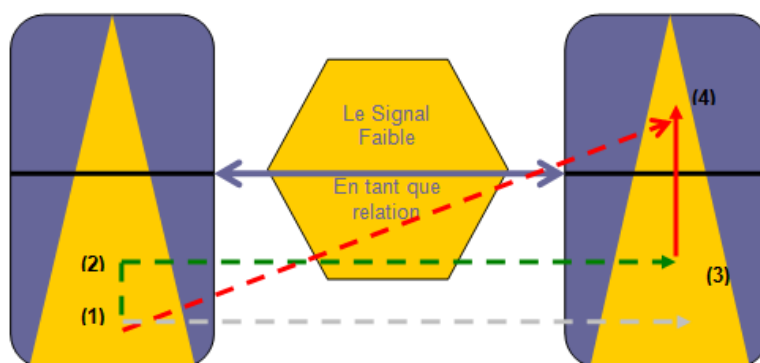


Figure 2 : Illustration de la démarche globale associée au traitement du signal faible

Détection du signal faible : identification de scénarii de dégradation de la maîtrise des risques

La **détection** est la capacité à identifier un lien entre les données opérationnelles de fonctionnement (pilier gauche) et celles conceptuelles de la modélisation des risques (pilier droit) : (1) → (2) → (3). Après s'être interrogé sur la collecte des données d'exploitation et du REX (1) et avoir prétraité les données, il est nécessaire de choisir celles qui doivent être prises en considération, les transformer (2) et enfin d'associer les données de fonctionnement filtrées à un niveau de risque (3), inférieur à celui de l'événement grave que l'on cherche à éviter (4).

Evaluation de la pertinence du signal faible : qualification des scénarii au regard de risques critiques

La **pertinence**, c'est s'interroger sur la représentation du risque par la projection du scénario détecté (3) à un niveau de risque ciblé (3)→(4) et de qualifier alors la relation (risque potentiel) avec les données d'exploitation et du REX (4)→(1).

Amplification du signal faible : comment le signal devient-il fort ?

L'**amplification** consiste alors à évaluer la maîtrise de ce risque (1) ↔ (4) dans ces nouvelles perspectives en confrontant les référentiels de fonctionnement et de représentation du risque pour permettre éventuellement de faire passer le signal de faible à fort, ce qui a pour résultat ultime, la mise à jour du référentiel de maîtrise des risques.

6/ Recommandations de méthodes pour outiller la démarche

Il apparaît comme point fondamental dans l'outillage de la démarche, la nécessaire concordance entre les différentes méthodes d'extraction de données et celles de représentation du risque. On ne pourra effectivement pas créer et qualifier de liens si, par exemple, d'un côté les données sont de type uniquement organisationnel avec de l'autre une représentation technique du risque.

6.1. Phase de détection du signal faible

Cette phase s'illustre de la manière suivante dans le schéma précédent : un ensemble de données issu du REX (de fonctionnement et dysfonctionnements) noté (1), n'ayant a priori aucun impact direct sur la sécurité, mais qui après traitement (2) est positionnée dans un scénario de sensibilisation au risque (3). La mise en pratique s'articule autour des points suivants :

S'interroger sur la collecte des données du REX

Une telle démarche repose sur un système et une politique de collecte de REX préexistant et il convient de s'interroger sur :

- des informations qui pourraient s'avérer utiles et qui ne sont pas enregistrées à ce jour (sources ou canaux),
- des cas de données enregistrées, semblant significatives et pourtant non utilisées (centralisation de l'information),
- des informations collectées qui sont peu utiles et qui détournent les ressources consacrées (« big data »).

Représenter le risque auquel le système est exposé

Dans l'optique de la gestion des signaux faibles, le **modèle de représentation des risques doit s'appuyer sur des approches inductives** (ex. APR, AMDE/AMDEC, HAZOP, MADS MOSAR, arbre des événements/conséquences, nœud-papillon pour le domaine technique, et pour les FOH, analyse d'activité, diagnostic organisationnel,...) et **déductives** (arbre des défaillances/causes, analyse des causes profondes) afin de comprendre les interactions entre les différents éléments de risque ou les stratégies de défense prévues pour gérer ces perturbations, en lien avec les événements. Il n'existe pas de meilleure méthode de modélisation, il semble avant toute chose important d'adapter le choix de la représentation du risque, au périmètre dysfonctionnel cible ainsi qu'à la typologie des données collectées. Un défi important se pose néanmoins aux architectes, managers et analystes de ces systèmes, en l'articulation voire l'intégration des dimensions facteurs organisationnels et humains aux dimensions techniques.

Prétraiter les données issues du REX

Il ressort, de la phase de collecte, la constitution de bases de données de fonctionnement et dysfonctionnement, souvent conséquentes. Une des premières difficultés apparaît alors dans la sélection des données ou, plus précisément, des variables représentatives du contexte (exogènes) de l'état interne du système (endogènes) et du risque (induites), ainsi que les observations à conserver pour l'analyse (remplacement de valeurs manquantes, traitement des valeurs singulières...). Une transformation des données ainsi obtenues peut également être nécessaire pour assurer la non corrélation entre les variables sélectionnées ou encore recalculer les observations dans un référentiel connu, normalisé.

Associer les données du REX à un niveau de risque

Ce modèle relationnel, s'il n'est pas explicite dans la représentation du risque (ce qui semble être le cas dans le domaine qui nous concerne, i.e. le signal faible) est à construire de manière statistique (automatisée) sur la base d'un apprentissage. Deux méthodes semblent particulièrement adaptées à la maîtrise des risques :

- la forêt d'arbres décisionnels (ou forêts aléatoires) qui permet de définir, par classification vis-à-vis de sous-ensembles représentatifs des variables induites, des indices d'importance des variables endogènes et exogènes.
- les machines à vecteurs de support qui permettent de représenter l'espace des variables endogènes et exogènes en classes, vis-à-vis des noyaux qui seraient identifiés parmi les variables induites.

6.2. Phase d'analyse de la pertinence

Cette phase s'illustre de la manière suivante dans le schéma précédent : le scénario mettant en relation des données du REX (1) et un niveau de risque (3) est projeté jusqu'à une conséquence potentielle plus élevée (4) et ainsi qualifie le risque détecté. La mise en pratique s'articule autour des points suivants :

Se projeter vers des niveaux de risques plus élevés

Il s'agira ici de s'appuyer largement sur une communauté d'experts, dont l'analyse sera supportée par une méthode permettant à la fois de structurer la démarche et d'émuler la capacité d'introspection quant au référentiel existant et de projection vers un référentiel enrichi. Au-delà de méthodes très souples comme le brainstorming collectif ou très structurantes comme celles d'analyses de risques, des méthodes comme TRIZ ou AVISE (Marle, 2005) peuvent à cette fin être tout à fait pertinentes. L'objectif sera alors d'identifier les facteurs pouvant entraîner une dégradation du niveau de risque induit par l'ensemble des données issues du REX. Ces mécanismes pourront alors être définis, puis évalués.

Evaluer le lien entre les données du REX et le risque identifié

Le recours à des experts est l'approche prépondérante que l'on constate dans l'analyse de risque basée sur un REX. Elle peut en complément s'appuyer sur des outils d'aide à la décision qui permettent de fournir le matériel souvent indispensable pour orienter les réflexions ou justifier des résultats. En particulier, des méthodes de traitement statistiques peuvent être bénéfiques quand il s'agit de mettre en relation des quantités très importantes de données (on a pu mettre en évidence ce besoin dans l'analyse des données de vol d'avion, cf. « Big Data »).

Représenter la relation informationnelle enrichie dans le référentiel de conceptualisation du risque

Dans le cadre de l'étude et de la traque du signal faible il est important de considérer, pour le système analysé, l'ensemble des facteurs-clés de l'exploitation d'un matériel ou d'une installation, et notamment son environnement naturel, physique, économique et socioculturel. La méthode préconisée est alors celle de la modélisation sous forme de Nœud-papillon adéquat pour les dimensions techniques et les causes directes (auxquelles il sera ajouté des dimensions humaines et organisationnelles pour traiter les causes profondes).

6.3. Phase d'amplification

Cette phase s'illustre de la manière suivante dans le schéma précédent : la relation ainsi déduite de l'analyse de la pertinence, entre les données du REX (1) et le niveau de risque le plus élevé (4), doit à présent être évalué en rapport au référentiel de maîtrise des risques pour déterminer s'il doit évoluer. La mise en pratique s'articule autour des points suivants :

Confronter les référentiels de fonctionnement et de représentation du risque

Généralement, l'accident est le produit d'une séquence de dysfonctionnement à travers lesquels on peut identifier grâce au processus d'enquête des facteurs causaux et contributifs, techniques, environnementaux, humains, opérationnels ou organisationnels. Les phases précédentes ayant mis en lumière les caractéristiques de cette relation « risque » / « événement » il s'agit alors de statuer sur les décisions à prendre :

- Mise à niveau du référentiel de maîtrise du risque, par exemple avec l'ajout de tâches de maintenance préventives...
- Collecte supplémentaire de données, semblant nécessaire à une meilleure qualification, ou à une réduction des incertitudes, ou à un suivi plus systématique de l'événement.
- Intégration de la relation, à requalifier à intervalle donné, mais sans conséquence immédiate.

Evaluation récursive

L'exploitation d'événements survenus en exploitation constitue l'approche réactive d'identification des risques. Pour que l'approche réactive ne se limite pas à une description superficielle du symptôme que constitue l'événement notifié, la démarche à mettre en œuvre doit autant que possible s'appuyer sur une démarche d'enquête. Sur la base d'informations largement collectées, elle doit permettre de définir les circonstances et les causes (directes et profondes) de la survenue de l'événement. La profondeur de l'analyse détermine la transversalité des causes, synonyme de plus-value pour la démarche de gestion de la sécurité. L'étape ultime de l'approche réactive pour l'identification des risques consiste précisément à déterminer la contribution des événements en termes de risques. La multiplicité des facteurs de risques (qu'ils soient techniques, humains ou organisationnels) et de leurs combinaisons peuvent rapidement faire apparaître des limites quant à la capacité de gérer ce type d'information.

7/ Application de la démarche, étude de cas

L'objectif de cette partie sera d'illustrer la mise en œuvre de la démarche sur un cas d'étude réel fourni par un des souscripteurs, et qui concerne des incidents techniques, ainsi qu'une analyse a posteriori sur les cas d'accidents précédemment étudiés.

7.1 Illustration sur un cas réel

On s'appuiera pour cette étude sur une base de données structurée recensant des comptes rendus d'interventions d'équipes techniques après défaillance, sur 6 années. Ces éléments correspondent à des faits techniques dont la gravité est très variable.

Contexte et objectifs de l'étude de cas

La base de données est structurée autour d'une soixantaine de champs contenant chacun, une valeur parmi une liste de possibles, et de plusieurs dizaines de milliers d'interventions après défaillances. Cette organisation des données collectées, ainsi que le nombre important de données, permet alors d'envisager l'emploi de méthodes mathématiques dans la démarche.

L'objectif annoncé est d'identifier dans cette base de données des sous-populations à risques, si elles existent, liant un type de configuration à un niveau de risque dans des conditions de fonctionnement précises ou en lien avec certains dysfonctionnements. Cette étude de cas doit avant tout permettre d'illustrer l'enchaînement des étapes nécessaires à la mise en pratique de la démarche de traitement du signal faible proposée. Ainsi, les résultats de l'étude de cas ont été présentés à un panel d'experts, auxquels a été proposé un questionnaire pour recueillir leurs avis sur les résultats obtenus, et ce afin de valider des dimensions plus humaines et organisationnelles en relation avec la circulation des informations, le traitement des données du REX, les prises de décision, mais aussi en lien avec les représentations des risques et de leur maîtrise.

Résultats quant à la détection de signaux faibles

Tout d'abord, les variables ont été alors séparées par analyse d'experts entre celles représentatives d'une configuration (endogènes), du contexte opérationnel (exogènes) et du risque (induites). Par la suite, suite à une analyse statistique (de type ACP) la soixantaine de champs a pu être réduite au quart. Enfin une information jusqu'alors non considérée dans le cadre de l'étude été ajoutée, elle s'est d'ailleurs révélée importante par la suite. Avec l'utilisation de méthodes statistiques (notamment, un algorithme de forêts aléatoires) seules 5 variables dominantes ont pu être identifiées. Ces variables représentent des liens directs au risque qui doivent alors être interprétés par les experts pour en évaluer la pertinence, notamment vis-à-vis de risques plus sévères. En effet, certaines relations peuvent refléter des causalités évidentes, d'autres différentes facettes d'un même lien à caractériser.

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une présentation aux experts et il en est ressorti plusieurs enseignements validant cette étape de détection de la démarche globale de traitement des signaux faibles. Tout d'abord, il est remarquable que certains paramètres, considérés a priori comme explicatifs, ne soient pas ressortis. Cela révèle qu'il ne faut pas a priori induire un biais dans l'analyse en se focalisant, par exemple, sur ces paramètres. Par ailleurs, il est rassurant de trouver plusieurs paramètres explicatifs, évidents d'un point de vue expert, parmi les 5 retenus. Enfin, certains des paramètres explicatifs sont de réelles

surprises pour les experts. Cette surprise et l'intérêt généré permettent de considérer cette relation de sensibilisation au risque comme un signal faible détecté mais dont la pertinence n'est pas encore qualifiée car elle reste inexploitée.

Résultats quant à l'analyse de la pertinence des signaux faibles identifiés et leur amplification

L'analyse de la pertinence reviendrait alors à qualifier cette relation pour en faire ressortir, par exemple, des éléments révélateurs d'un phénomène organisationnel, humain ou technique (dimensionnement des équipes terrain...). Il s'agirait alors de définir les facteurs contributifs aggravants qui, combinés à ces éléments organisationnels, humains ou techniques, pourraient amener le scénario considéré (lié à un risque mineur) à des conséquences plus sévères.

Il est à noter que si le prétraitement des données a réduit le nombre de variables explicatives non corrélées, la qualification nécessite une analyse par lien à partir d'un ou d'une combinaison de paramètres. Dans le cas présent on aurait pu imaginer que les relations ayant engendrées surprise et intérêt pouvaient être le reflet d'une configuration particulière à la fois technique et organisationnelle et que des mesures spécifiques à cette configuration pourraient être prises. On aboutit ainsi à la finalité du signal faible qui est de pouvoir remettre en cause le modèle existant de maîtrise des risques et de pouvoir alors **amplifier ce signal faible pour en faire un signal fort** révisant ainsi, par exemple, la politique de maintenance dans cette configuration spécifique.

7.2 Illustration sur des cas d'accident : le cas de l'accident du Concorde

Trois accidents ont fait l'objet de l'application mais seule celle sur l'accident du Concorde est évoquée ici. Un rappel d'éléments du scénario est effectué ci-après. L'avion passe à grande vitesse sur une lamelle métallique qui fait exploser un pneumatique. Les débris de pneumatiques projetés heurtent l'aile au niveau de réservoir. La conjonction des énergies du choc et de l'onde réfléchie provoquent la rupture d'un panneau du réservoir qui entraîne à son tour une fuite kérosène. Le carburant qui se mélange à l'air est enflammé par des gaz chauds à la sortie des réacteurs, ce qui allume une flamme. La flamme n'est pas éteinte par le vent relatif car elle se situe juste derrière le train d'atterrissage. Les deux moteurs du côté gauche ingèrent des gaz chauds et perdent toute puissance. Cette séquence très courte, moins d'une seconde, se produit au moment du décollage et l'avion ne peut ni monter, ni accélérer. Il s'écrase moins de deux minutes après.

L'enquête a montré la complexité de l'accident qui était difficilement prévisible dans tout son développement, même au travers de l'analyse approfondie de tous les événements en service. Cependant certaines fragilités avaient été sous estimées et la fréquence d'éclatement de pneumatiques anormalement élevée n'avait pas suscité suffisamment d'inquiétudes. Initialement, il avait été considéré que les dommages provoqués par des explosions de pneumatique ne pouvaient pas avoir de conséquences catastrophiques. Après l'incident de 1979 à Washington, des essais de tir de morceaux de caoutchouc d'une masse de 1 kg avaient amené au constat qu'il n'y avait pas d'endommagement des parois des réservoirs de nature à compromettre la sécurité. On était donc dans le cas où le référentiel sur la connaissance des dysfonctionnements du système donnait une importance mineure (voire résiduelle ou négligeable, du point de vue de la sûreté) à l'éclatement de pneus. Ainsi, la qualification du lien, ou l'évaluation de la pertinence, avait été partiellement réalisée et avait conduit à n'en retenir qu'une importance mineure. Par la suite, l'exploitation a continué, sans que les événements liés à des éclatements de pneumatiques ne soient particulièrement suivis. Or, même si l'on partait du principe que la gravité de l'éclatement de pneumatiques n'était pas critique, le taux d'événement aurait pu paraître anormal : 100 fois plus élevé que la moyenne des autres avions de transport, pris en référence lors de la conception de l'aéronef. Il ne s'agissait là que d'une augmentation en fréquence d'un type d'événement considéré comme non critique. Cependant, si l'on applique la démarche signal faible que l'on a définie dans ce rapport, cela pourrait éventuellement changer certaines choses :

- La fréquence d'occurrence de l'événement « éclatement de pneumatique » était mesurée mais mésestimée marquant le signe d'un vieillissement technique prématuré de cet organe de l'avion.
- De plus, la combinaison avec d'autres facteurs observés auraient pu permettre d'associer ces événements à un scénario de sensibilisation au risque, de niveau inférieur dans la partie de droite du modèle, celui des fuites de carburant mineures.

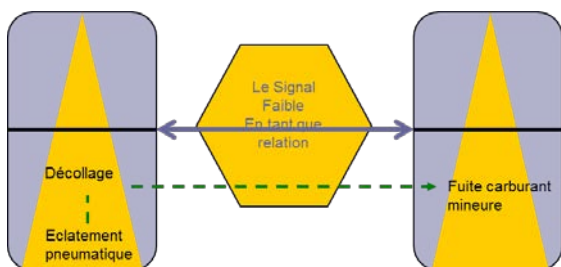


Figure 3 : Représentation initiale du cas de l'accident du Concorde

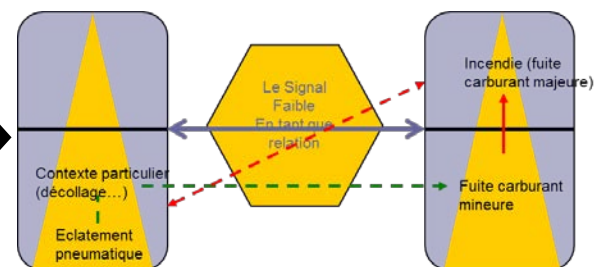


Figure 4 : Illustration de la mise en exergue du lien SF du cas de l'accident du Concorde

En se projetant sur les évolutions possibles d'un tel scénario, aurait pu apparaître celui de la « fuite majeure entraînant un incendie » (i.e. le scénario du Concorde). Les phénomènes aggravants pouvant faire passer le scénario « fuite mineure » à « fuite majeure entraînant un incendie » (i.e. le scénario du Concorde), aussi imprévisible qu'il ait été, auraient alors pu être imaginés. Ainsi, serait éventuellement apparue une augmentation de la sensibilité au risque majeure de « l'incendie en phase de décollage », comme cela a été énoncé dans la définition du signal faible. Il aurait alors fallu remettre en cause le modèle existant en statuant, par exemple, sur une nécessaire re-conception du réservoir carburant et des pneumatiques.

En synthèse nous retrouvons bien les 3 étapes-clés de la démarche, au travers de ce cas d'accident, illustré comme suit :

- détection : mise en évidence de la relation entre les éclatements de pneumatique et la fuite (mineure) de carburant ;
- pertinence : avis d'expert sur les conséquences possibles de la fuite carburant (l'évaluation partielle de la criticité de ce problème, étant donné que les perforations provoquées jusque-là, en service et lors de tests spécifiques, n'avaient conduit qu'à des fuites mineures) ; ainsi la projection a été bridée par les hypothèses retenues lors des tests et par un suivi incomplet du REX des dysfonctionnements ;
- amplification : le suivi de la fréquence des événements (très supérieure à la normale) pouvait renseigner sur l'augmentation de la sensibilité au risque.

Dans la pratique le signal faible avait pu être détecté mais l'analyse de sa pertinence l'a affaibli, et il n'a donc pu être évalué à sa juste mesure et amplifié.

8/ Conclusion

L'objectif de l'étude était de structurer une démarche opérationnelle de traque des signaux faibles en s'appuyant en première approche sur l'ossature des dispositifs de REX et des bases de données utilisées dans l'industrie. De plus le pari était de pouvoir articuler d'une part les enseignements qui relèvent plutôt des **dimensions facteurs organisationnels et humains** (en provenance de l'accidentologie, de la veille stratégique), et d'autre part, les démarches de traitement des données relevant des statistiques appliquées et de la **sûreté de fonctionnement** (jugement d'expert, anticipation et vieillissement).

Les premiers enseignements de l'état de l'art nous ont conduit à considérer qu'une **terminologie a priori** sur un signal d'entrée apparaissait comme inappropriée. En effet, il est avant tout une production intellectuelle apportant du sens à de l'information, ce sens étant lui-même tourné vers l'idée des risques potentiels. Il ne s'agit pas d'une propriété intrinsèque d'une information mais extrinsèque. L'étude a ainsi permis une **définition opérationnelle** du signal faible qui signifie que le signal n'est pas faible par la nature de la source d'information mais par le rattachement entre cette source et une mesure du risque par une qualification de scénarii. Cela se traduit par la nécessité de rapprocher modèle de risque élaboré en phase de conception et les données d'exploitation et du retour d'expérience.

La suite de l'étude a porté sur l'application et le test de ces principes pour déterminer une approche globale, en **trois étapes**, et l'illustrer sur deux types d'études de cas : un cas réel, avec une analyse a priori d'un échantillon de données de REX de dysfonctionnement mise en discussion avec les experts d'un souscripteur et des cas d'accidents, en analyse a posteriori :

1. La première étape, de **détection**, associe des démarches expertes et de traitement de données, afin d'identifier un lien entre les données issues du REX (de fonctionnement et dysfonctionnement) et un scénario de sensibilisation au risque défini comme signal faible. Cela peut passer par des méthodes d'apprentissage statistiques, qui sont particulièrement à même de détecter des relations dans des données massives (« Big Data »), ou par une mise en évidence par des donneurs d'alerte (experts du terrain ou au niveau central). En amont, ces démarches nécessitent d'organiser une traque ciblée, une sélection et collection d'informations, notamment par des canaux variés et complémentaires (formel/informel).
2. L'appropriation par les experts des résultats issus de la détection, permet alors de se projeter vers des scénarii nouveaux pouvant conduire à un risque plus important. Après cette recherche et création de liens, **l'analyse de la pertinence** revient à qualifier ou statuer sur la relation détectée entre les données et le risque. Elle permet de faire passer le signal de faible à un signal reconnu comme un risque potentiel (qui reste à caractériser). Il s'agit bien d'un couplage entre le REX et l'analyse de risques. Elle est d'autant plus aisée et convaincante que les experts peuvent s'appuyer sur des données exploitées ou à re-collecter.
3. In fine, le fait de réinterroger le modèle de défaillance et de confronter les deux référentiels (l'ancien et le nouveau) afin de confirmer l'exposition aux scénarii de risque, issus des étapes précédentes, permet de donner suite à la reconnaissance de la force du signal, et de repenser les indicateurs de suivi de risque ou de mettre à jour le référentiel de maîtrise des risques. Il s'agit d'une **amplification** du signal.

Enfin, les études sur ces problématiques ne peuvent être closes à l'issue de ce projet. Pour compléter ces travaux, plusieurs **axes de réflexion et quelques perspectives** peuvent être envisagés :

- Tout d'abord, en remarque préalable ou condition nécessaire, il convient de disposer de **données de qualité** permettant de décrire avec richesse le contexte d'exploitation, les circonstances et d'analyser les causes (profondes) des défaillances ou écarts à la norme. L'efficacité de la mise en perspective ou de la recherche de liens avant-coureur ne peut qu'être réduite si les données sont pauvres et uniquement symptomatiques. Ceci étant posé, le défi de correction des échecs du REX reste considérable pour les managers et opérationnels. Enfin l'existant en terme de bases de données n'étant pas toujours conforme à l'attendu, le déficit sera long à résorber ;
- Au regard de cet état de fait, des **dispositions d'interfaçages des différentes bases de données** peuvent d'ores et déjà être mises en œuvre afin de constituer de nouveaux échantillons ou nouvelles bases de données intégrées facilitant les mises en lien d'informations jusque-là séparées. Cette défragmentation faciliterait les recoupements à la base de la traque des signaux faibles ;
- Au niveau de l'organisation de la collecte de données, point de départ de la démarche, il s'agirait de définir une démarche d'optimisation par l'exploration de la mise en place ou l'utilisation de **canaux de remontée plus informels** fournissant une information moins structurée et moins formatée (retours terrain, déclaration spontanée, etc.). Dans une certaine mesure une part serait formalisée pour être capitalisée et être utilisable dans la durée dans un réseau organisationnel étendu, mais il convient a minima de compléter les dispositifs existants par une mobilisation des acteurs permettant l'intégration de cette dimension ;
- Une réflexion devrait être engagée sur les **effets induits d'une définition en amont de cibles** qui certes sont nécessaires pour hiérarchiser les priorités mais peuvent masquer la difficulté inhérente d'identification de signes non-reconnus a priori. Par ailleurs, dans le doute, la tentation de collecter toujours plus de données a priori, peut se révéler néfaste (introduction de bruit, consommation excessive de ressources,...).
- L'exploitation de ces nouvelles formes et masses de données peut aujourd'hui être facilitée par les approches « **Big Data** » et par des méthodes de **traitement automatique du langage** (cf. projet IMdR P10-5), mais également par la capacité à éliminer ou valoriser régulièrement certaines sources.
- Ensuite au-delà des problématiques sur des données enrichies, il apparaîtra comme intéressant, même si l'ensemble de la démarche ne peut être mise en œuvre, de renforcer les **liens dynamiques entre le référentiel d'exploitation** (REX) et celui conceptuel de la **maîtrise des risques**. Ceci permettra de mieux qualifier le retour d'expérience d'une part et d'amender, en temps réel, le référentiel d'exploitation ainsi qu'en conception pour de futurs projets.
- Enfin, une des limitations identifiées au cours de l'étude consiste en la séparation des modèles de risques techniques et de ceux propres aux facteurs humains et organisationnels (FOH). Un **couplage de ces modèles** pourrait améliorer la formalisation des relations et fournir un référentiel du risque plus complet. Notons que cela exige que les experts techniques et les experts FOH soient intégrés et collaborent dans les équipes de conception dès la phase d'avant-projet, mais aussi dans les phases d'exploitation des données de fonctionnement et dysfonctionnements. Des dispositions existent mais elles ne semblent pas être assez déployées.

9/ Remerciements et Références

Les auteurs remercient MM. John Obama et André Lannoy (IMdR) pour leur participation active aux réflexions du début à la fin. Ils remercient leurs collègues qui ont participé à certaines réflexions et réunions : Stéphane Schubanel, Céline Leredde et Julien Giudicci (LGM), David Nouvel, Sébastien Travadel et Alexis Marceau (Safety Line), Violaine Bringaud, Emmanuel Remy et Yves Dien (EDF R&D), Ludovic Hounnou (RATP), Marc Borio (DCNS), Jérôme Blondel (GDF SUEZ), Gabriel Innocente (GrDF). L'IMdR remercie les souscripteurs du projet P12-1 dont le rapport complet est disponible auprès de l'IMdR (www.imdr.fr). Parmi la centaine de références utilisée, certaines sont citées dans le texte.