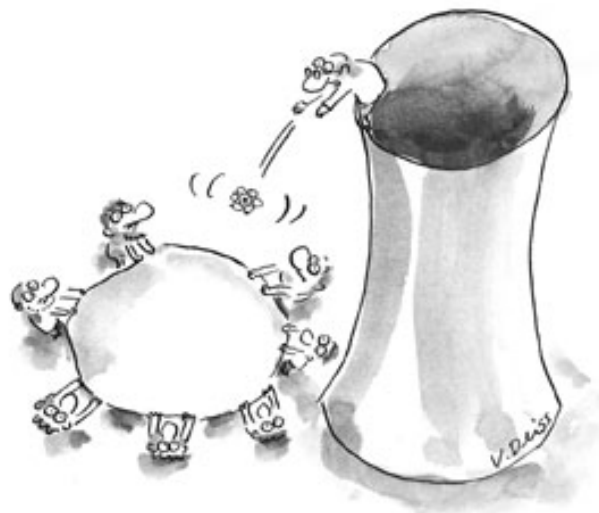


# L'homme, facteur de sûreté

## *La conduite des centrales nucléaires*

**On dit souvent que l'homme est le maillon faible de la sûreté et qu'il faut développer le plus possible les automatismes et les règles pour encadrer son travail. Une thèse de l'École polytechnique montre au contraire qu'il joue un rôle essentiel dans la sûreté. Dans les centrales nucléaires, le remarquable talent d'investigation des équipes de conduite et leur soif de connaissances expliquent le niveau de sûreté exceptionnel obtenu pour des systèmes aussi complexes. Pour progresser encore en matière de sûreté il faut reconnaître à sa valeur le rôle des équipes de conduite et s'appuyer sur leur expérience.**

L'industrie nucléaire a connu deux accidents graves qui ont marqué les esprits : l'un aux Etats-Unis en 1979 dans la centrale de Three Mile Island, l'autre en Ukraine en 1986 dans la centrale de Tchernobyl. Leur analyse a permis d'attirer l'attention sur le « facteur humain », considéré a priori comme le maillon faible de la sûreté. Après TMI, des mesures concrètes d'amélioration de l'interface hommes-machines ont été prises et, après Tchernobyl, on s'est efforcé de développer une culture de la sûreté responsabilisant chacun.



Mais dans le même temps, la méfiance envers le facteur humain a conduit aux principes suivants : 1) réduire l'intervention humaine en ajoutant des automates partout où cela est possible ; 2) repérer et éliminer les principales sources d'erreur humaine ; 3) limiter l'initiative des opérateurs par la mise en place de procédures et de règles censées couvrir tous les cas de figure possibles.

Cette démarche a certes contribué à un niveau de fiabilité exceptionnel, mais elle atteint ses limites :

- les règles ne sont jamais parfaites et leur multiplication peut conduire à une lourdeur administrative, à des contradictions ou des défauts de mise à jour ;
- des événements imprévus surviennent, qui impliquent une interprétation et un jugement des équipes ; mais en auront-elles la compétence et l'envie si on les prive d'initiatives ?
- enfin, quand les systèmes sont réputés ultra-sûrs en eux-mêmes, cela peut entraîner une perte de vigilance, comme l'a montré l'ergonome René Amalberti dans l'aéronautique<sup>1</sup> ; c'est ce que Danny Miller appelle aussi le paradoxe d'Icare<sup>2</sup>.

Il faut donc redonner leur place aux hommes dans la sûreté. Ou plutôt la leur reconnaître : ils jouent en fait un rôle essentiel depuis toujours. Les équipes de conduites développent

des savoir-faire remarquables pour faire en sorte que tout se passe bien. L'application rigoureuse de consignes et de procédures ne suffit pas pour arriver à ce résultat : il faut en plus une qualité de la vie collective des équipes. C'est ce que montre une thèse réalisée par Benoît Journé en collaboration avec le Groupe Facteurs Humains (GFH) de la Direction des Etudes et Recherches et de la Direction de l'Exploitation du Parc Nucléaire d'EDF, et qui a reçu le prix de l'Ecole polytechnique en 1999<sup>3</sup>.

## Les réalités derrière les chiffres

Un chiffre couramment énoncé est que, dans les centrales françaises, 80 % des incidents déclarés ont une cause humaine. Mais ce chiffre masque des réalités complexes, comme le montre l'exemple suivant.

*Pour remédier à un enfoncement excessif des barres de régulation de puissance d'un réacteur dans le cœur au cours d'un essai périodique, l'équipe de conduite avait procédé à une injection de bore pour les faire remonter. Elle était intervenue en mode manuel et non en mode automatique comme le demandait la fiche d'alarme. Le non respect de la consigne d'intervention a fait classer en interne l'incident « cause humaine ». De plus, si l'on se réfère aux débats lors de la rédaction du compte rendu de l'incident et aux mesures demandées, on constate que :*

- une instrumentation insuffisante a compliqué le travail de l'équipe ;
- il a été demandé que la fiche d'alarme soit modifiée car sa formulation pouvait induire en erreur ;
- les équipes de conduite ont demandé une modification de la périodicité de certains essais jugés trop fréquents et trop fatigants pour le matériel et les personnels (l'incident a eu lieu à l'occasion d'un essai) ;
- certains, comme l'ingénieur sûreté du site, ont vu dans le non-respect de la fiche le résultat d'un décalage entre des procédures qui évoluent sans cesse face à un système technique qui, lui, est resté inchangé.

Derrière les « facteurs humains » se profilent donc les dimensions techniques et organisationnelles de la conception et de l'exploitation des centrales. Enfermé dans une catégorisation, le classement « humain » de l'incident ne rend donc pas bien compte de la nature de l'exploitation des centrales ni de la contribution de l'homme à la sûreté.

De 1995 à 1998, Benoît Journé a fait des séjours de longue durée dans des centrales nucléaires, partageant les postes de jour et de nuit avec les équipes. Il a alterné les positions fixes d'observation dans la salle de commande et le suivi d'acteurs dans leurs déplacements, les prises de notes sur courtes périodes pour saisir le détail des activités et les notes en continu sur la durée d'un poste. Il a eu de plus l'idée de laisser ses notes à disposition des personnels et de les inviter à y ajouter leurs commentaires. Cela a contribué à l'établissement de relations confiantes, nécessaires dans ce type d'étude.

## La salle de commande au quotidien

La conduite est prise en charge par une équipe dirigée par un chef d'exploitation. Elle se compose de deux cadres techniques qui encadrent sept à huit opérateurs et une dizaine de rondiers (qui effectuent des rondes de contrôle et des actions directement sur les installations). La conduite est organisée en postes de huit heures, trois équipes se relayant en 24 heures. La salle de commande regroupe toutes sortes de dispositifs techniques de contrôle et de commande, ainsi que des milliers de pages de

textes prescriptifs. Des ressources extérieures à la salle de commande peuvent être mobilisées, en particulier l'ingénieur sûreté ou la maintenance.

La conduite ne se présente pas sous forme d'une succession bien ordonnée d'actions affichant un début et une fin clairement identifiés : les activités sont marquées par l'imprévisibilité, la complexité et parfois l'ambiguïté.

## Des activités peu programmables

Dicté par les impératifs du temps réel, le déroulement d'un poste s'apparente à un flux peu structuré de situations successives dont il est parfois difficile d'anticiper l'impact précis sur la sûreté ou la performance de l'exploitation. Beaucoup d'activités se déroulent en parallèle et se chevauchent, des périodes d'accumulation de tâches alternant avec des moments de calme. Un opérateur est souvent interrompu par des appels téléphoniques, des demandes de renseignements ou des déclenchements d'alarmes. Le travail combine pilotage, coordination des interventions, surveillance, lecture, écriture et communication. Les équipes doivent donc être vigilantes, réactives et bien organisées, d'autant que les installations sont complexes.

## Des situations complexes

La complexité peut être illustrée par un problème rencontré lors de la requalification d'une vanne, consistant à s'assurer qu'elle s'ouvre et se referme sur commande.

*Un jeune opérateur, ayant suivi scrupuleusement la procédure, s'aperçoit que la vanne ne s'ouvre pas à sa commande d'ouverture. Une deuxième tentative se solde par le même échec. Un collègue plus ancien, supposant la vanne coincée, suggère de l'isoler et de l'ouvrir en force. Le jeune prend conseil auprès du cadre technique qui valide la manœuvre. Une nouvelle tentative est effectuée : le rondier présent sur les lieux indique que la vanne s'est ouverte mais ne se referme pas. L'opérateur recommence la manœuvre, cette fois avec succès. Mais au bout de 3 minutes une alarme de température se déclenche et il faut engager une série d'opérations fastidieuses pour le refroidir. L'alarme disparaît 22 minutes plus tard.*

*L'opérateur expérimenté fait remarquer au plus jeune qu'il faut faire preuve de doigté pour éviter de déclencher l'alarme de température. Il lui propose de passer la prochaine fois en mode manuel. Le jeune fait remarquer que la consigne prévoit de faire l'opération en automatique, mais son collègue répond que cela conduit trop souvent au déclenchement de l'alarme. Une minute après la disparition de l'alarme, le jeune entame la requalification en manuel, sous l'œil de son collègue.*

*Un rondier remonté en salle de commande discute avec ce dernier de la « manip ». En fait leur discussion s'adresse indirectement au plus jeune. Ils insistent sur trois points qui ne sont pas précisés dans la consigne de requalification : 1) le circuit comporte un échangeur, il faut donc aller doucement pour lui laisser le temps d'agir ; en outre, il faut non seulement suivre l'indicateur de débit mais aussi celui de température qui, par déduction, donne des informations sur le degré d'ouverture de la vanne ; 2) il faut éviter les à-coups qui forment des bouchons d'eau chaude et déclenchent l'alarme de température ; 3) il faut tenir compte du délai de réaction lié à la distance parcourue par l'eau (plus de 200 mètres).*

On voit que la prise en compte de la complexité de la situation s'est faite petit à petit, au fur et à mesure des discussions entre les protagonistes et de l'évolution de la situation.

# « La rigueur de l'exploitation et la qualité des relations de travail constituent deux aspects essentiels permettant à l'Autorité de sûreté nucléaire d'apprécier la sûreté d'un site »



## Des situations ambiguës

L'ambiguïté est présente lorsque plusieurs interprétations d'un problème et des solutions sont en concurrence, comme dans l'exemple suivant.

*Un des quatre ventilateurs du bâtiment des auxiliaires nucléaires est tombé en panne pendant la nuit. Pour l'équipe du matin, le problème appelle une solution simple : la situation n'est pas dangereuse car les trois autres ventilateurs assurent un taux de dilution suffisant mais il faut réparer le ventilateur au plus vite pour ne pas laisser une situation dégradée. Une demande de réparation est adressée à la maintenance dont l'intervention est prévue en début d'après-midi. Mais la relève avec l'équipe de l'après-midi donne lieu à une divergence de vues. Son chef d'exploitation craint que la réparation provoque un incident car, pour réparer, il faut arrêter les trois autres ventilateurs, ne serait-ce que pour entrer dans le bâtiment. Ce ne serait alors plus l'arrêt involontaire d'un matériel important pour la sûreté, mais un arrêt volontaire de trois ventilateurs. Cet événement étant provoqué et non fortuit, il faut obtenir au préalable une dérogation de l'autorité de sûreté (la Direction de la sûreté des installations nucléaires), sinon l'équipe risque d'être déclarée fautive d'un manquement aux règles de sûreté. L'équipe de l'après-midi bloque alors l'action de la maintenance. Une série de discussions montrera qu'il faut expertiser le ventilateur pour savoir quelle a été la cause exacte de son arrêt. Il est conclu qu'il n'y a pas d'urgence et l'expertise est programmée lors d'une intervention de maintenance préventive planifiée de longue date.*

## La «discussion avec la situation»

Les opérateurs mènent ce que Donald Schön appelle une discussion avec la situation<sup>4</sup>. L'exploration de la complexité d'un problème s'effectue par un jeu de questions-réponses et la réflexion progresse par ramifications : une question en appelle une autre, une interprétation est remise en cause par telle information provenant d'un collègue, d'un indicateur ou d'un document que l'on n'avait pas sollicité d'emblée ; une action modifie la situation et appelle une actualisation des informations, etc.

La discussion ne peut toutefois se développer et converger qu'à certaines conditions :

- il faut qu'il y ait un lieu de débat ; la salle de commande est un espace de discussion : sa place centrale en fait un carrefour où les différents intervenants se rencontrent et dialoguent ;
- il faut que l'organisation entretienne une pluralité de points de vue, en mettant en contact des agents à la formation initiale, à l'expérience et aux attributions différentes ; c'est ce qu'on observe dans la composition des équipes, notamment à travers les jeunes en formation, incités à poser beaucoup de questions ; il est de plus à noter que la force des arguments de chacun repose plus sur l'expertise et la pertinence que sur la position hiérarchique ; ainsi, il n'est pas rare qu'un rondier fasse changer d'avis un opérateur ou un cadre technique ; en revanche, la décision finale reste du seul ressort du responsable désigné par l'organisation ; la discussion vise à lui donner les moyens de décider en toute connaissance de cause ;
- il faut que l'organisation fournisse régulièrement des occasions de discussion pour que les équipes soient suffisamment entraînées quand elles sont face à des situations d'urgence ; ces occasions sont fournies par des événements fortuits, mais aussi les relèves, les briefings, les passages de l'ingénieur sûreté ou les contrôles effectués par le chef d'exploitation.

Il faut aussi que les opérateurs aient les compétences et l'environnement pour participer à cette discussion et qu'ils se sentent investis d'une confiance suffisante pour exprimer leurs doutes et leurs incompréhensions, comme le montre Christophe Dejourn<sup>5</sup>.

## L'homme, gestionnaire de réseaux

La première compétence est l'expertise technique qui fonde la confiance. Mais cela suppose aussi d'autres compétences à caractère moins technique. L'homme apparaît comme un gestionnaire du réseau des ressources mobilisables. La constitution de ce réseau, qui comprend aussi bien des personnes que des dispositifs techniques, suppose une bonne connaissance des techniques et des documents mobilisables et l'entretien de bonnes relations avec les collègues des différents services (maintenance,

ingénieur de sûreté, ingénieurs de la conduite, automaticiens, chimistes, etc.).

L'entretien des connaissances est aussi un point clé. Outre les occasions de discussion évoquées ci-avant, les périodes de calme sont mises à profit pour improviser un quiz avec les jeunes en formation, un peu sous la forme des examens qu'ils devront passer pour décrocher leur habilitation. Des scénarios sont élaborés sur la base des situations réellement vécues pendant le poste, auxquelles on ajoute des complications. De nombreuses connaissances théoriques et pratiques sont mobilisées à cette occasion. À l'image des arènes d'habileté décrites par Nicolas Dodier<sup>6</sup>, chacun a à cœur de montrer ce qu'il sait. Une question en appelle une autre, on se replonge dans les documents pour vérifier certains points dont on ne se souvient plus très bien, etc. Cela permet aux jeunes de découvrir des problèmes rares tout en offrant aux plus chevronnés la possibilité de rafraîchir des connaissances peu souvent mobilisées. Cela permet aussi de mettre en relation une expérience avec des connaissances théoriques (sur les phénomènes physiques présents dans le réacteur nucléaire).

### Pour une reconnaissance des hommes

Benoît Journé montre la remarquable aptitude au débat et l'appétit de connaissance des personnels de conduite. On pourra se dire que c'est normal vu les risques qu'ils ont en charge. Mais ces qualités sont sensibles à l'ambiance de travail et à la reconnaissance dont le personnel se sent l'objet.

Quand l'atmosphère de travail est lourde, que les rapports de pouvoir inhibent la communication et que les procès d'intention fusent facilement, cela nuit aux échanges et à la coopération. Cette question a fait l'objet de recherches en relation avec le CEA dès le début des années 80<sup>7</sup>. L'autorité de sûreté y est d'ailleurs très sensible, comme le montre un communiqué de presse du 28 septembre 2000 d'André-Claude Lacoste, directeur de la sûreté des installations nucléaires. Rappelant que « la rigueur de l'exploitation et la qualité des relations de travail constituent deux des aspects essentiels permettant à l'Autorité de sûreté nucléaire d'apprécier la sûreté d'un site nucléaire », il a mis la centrale de Dampierre sous « surveillance renforcée ». Si la situation ne s'améliore pas, il précise qu'il pourrait aller jusqu'à décider la fermeture du site.

Un précédent numéro de la *Gazette de la société et des techniques* a avancé que la bonne marche des installations modernes dépend de la motivation des personnels<sup>8</sup>. L'histoire de la conduite nucléaire a été marquée par des conflits sociaux révélateurs d'un manque de reconnaissance des équipes : une représentation schématique du travail des opérateurs avait conduit à déprécier leurs compétences techniques et leurs capacités relationnelles. Ces conflits ont débouché sur des revalorisations des rémunérations et des carrières. Le développement chez EDF d'une politique de management de la sûreté depuis 1996 contribue aussi à une reconnaissance accrue du rôle des hommes.

Mais l'enjeu de la sûreté dans le nucléaire, et dans toutes les industries à risque, est aussi de modifier l'image qu'on se fait communément de l'exploitation.

Après Three Mile Island s'est développée une controverse aux États-Unis. Charles Perrow, sociologue réputé, a avancé en 1983 que les ingénieurs de conception retenaient des options techniques sans avoir conscience de leurs conséquences sur la complexité d'exploitation. Il a même défendu la thèse selon laquelle la complexité technique est telle qu'il se produit


inévitamment des enchaînements de phénomènes dont la combinaison, toujours surprenante, dépasse les hommes et peut conduire à l'accident. La parution en 1984 de son ouvrage "Normal accidents"<sup>9</sup> a ainsi eu un grand retentissement. Des chercheurs appartenant majoritairement à l'université de Berkeley ont répliqué que cette approche était bien trop schématique et qu'il convenait de regarder de près comment font les organisations aux prises avec une technologie aussi complexe pour avoir aussi peu d'accidents<sup>10</sup>.

Benoît Journé montre ainsi que les capacités de réaction des équipes de conduite sont bien supérieures à celles qu'imagine Charles Perrow. Il conviendrait donc de considérer que la sûreté est assurée grâce aux hommes et non malgré eux et d'en tirer les conséquences pour mener des stratégies permettant de progresser encore.

Michel Berry

### NOTES

1. René Amalberti, *La conduite des systèmes à risques*, Paris, PUF, coll. Le Travail Humain.
2. Danny Miller, *Le paradoxe d'Icare, Comment les entreprises se tuent à réussir*, Laval (Québec), ESKA, 1993.
3. Benoît Journé, *Les organisations complexes à risques : gérer la sûreté par les ressources, étude de situations de conduite de centrales nucléaires*, Thèse de l'École polytechnique, janvier 1999.
4. Donald Schön, *The Reflexive Practitioner, How Professionals Think in Action*, Basic Books Inc, 1983.
5. Christophe Dejours, *Le facteur humain*, Paris, PUF, collection Que sais-je ?, 1995.
6. Nicolas Dodier, « Ce que provoquent les infractions, étude sur le statut pragmatique des règles de sécurité », dans Michèle Grosjean et Jacques Girin (sous la direction de), *Règles et transgressions*, Paris, Editions l'Harmattan, 1996.
7. Paul Mayer, *Les règlements de sécurité dans une industrie à risques. Recherche sur l'atmosphère subjective dans la gestion de la sécurité dans une installation*, Publication Centre de recherche en gestion de l'École polytechnique, 1982.
8. « L'ouvrier enthousiaste, Marx et Taylor revisités », *La Gazette de la société et des techniques* n°1, mars 2000.
9. Charles Perrow, *Normal Accidents : Living with High Risk Technologies*, New York, Basic Books, 1984.
10. Un ouvrage dirigé par Karlene Roberts donne un aperçu des travaux de l'École de Berkeley *New Challenges to Understanding Organizations*, New York, Macmillan, 1993.



**La Gazette**  
DE LA SOCIÉTÉ  
ET DES TECHNIQUES


*La Gazette de la Société et des Techniques* a pour ambition de faire connaître des travaux qui peuvent éclairer l'opinion, sans prendre parti dans les débats politiques et sans être l'expression d'un quelconque point de vue officiel. Elle est tirée à 20 000 exemplaires et diffusée par abonnements gratuits. Vous pouvez nous demander des exemplaires supplémentaires ou suggérer des noms de personnes ou institutions que vous estimez bon d'abonner.

N°1 <i>L'ouvrier enthousiaste : Taylor et Marx revisités</i>	N°4 <i>Comprendre la globalisation</i>
N°2 <i>La voiture en ville</i>	N°5 <i>Douce France, que fais-tu pour attirer les investisseurs ?</i>
N°3 <i>La télévision et le ministre</i>	N°6 <i>Les surdipômés de l'administration</i>


**RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS**  
**Dépôt légal mars 2001**

*La Gazette de la société et des techniques* est éditée par les **Annales des mines**, 20 avenue de Ségur, 75007 Paris - <http://www.annales.org> - Tél : 01 42 79 40 84. Fax : 01 43 21 56 84. E-mail : [mberry@paris.enscm.fr](mailto:mberry@paris.enscm.fr) - N° commission paritaire : 0305 B 05495 N° ISSN : 1621-2231

**Directeur de la publication :** Gérard Piketty.  
**Rédacteur en chef :** Michel Berry.  
**Conception graphique :** Catherine Le Troquier.  
**Illustrations :** Véronique Deiss.  
**Impression :** Sager, 1<sup>er</sup> route de Verneuil, 28240 - La Loupe.  
**Routage :** APR, 33-35 rue Claude Jean Romain, 94170 Le Perreux-sur-Marne



Liberté • Égalité • Fraternité  
**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**



MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE  
DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE