



HAL
open science

Interventions humaines dans l'exploitation de processus industriels : quels enjeux de performance ?

Joffrey Beaujouan, Léonard Querelle

► To cite this version:

Joffrey Beaujouan, Léonard Querelle. Interventions humaines dans l'exploitation de processus industriels : quels enjeux de performance ?. SELF, Sep 2011, France. hal-00782320

HAL Id: hal-00782320

<https://hal.science/hal-00782320>

Submitted on 29 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Interventions humaines dans l'exploitation de processus industriels : quels enjeux de performance ?

Cas d'un réseau d'assainissement d'eau usée.

Joffrey BEAUJOUAN

Ergonome, Université de Bordeaux, Institut Polytechnique de Bordeaux, ENSC, Département d'Ergonomie.
146 rue Léo-Saignat, 33076 Bordeaux Cedex. beaujouan.joffrey@gmail.com

Léonard QUERELLE

Ergonome consultant, Ergonomie & Conception. www.ergonomie-conception.fr
leonard.querelle@gmail.com

Résumé. À partir d'une expérience d'intervention ergonomique réalisée dans le domaine de l'assainissement des eaux usées, nous décrirons comment la prise en compte des interventions humaines et de ses exigences dans la conception de processus industriels contribueraient autant à la fiabilité, la sécurité, la santé, l'efficacité des travailleurs, la qualité de service produit, ainsi qu'à la préservation de l'environnement. Le récit d'une situation d'exploitation d'un réseau d'eau usée permet de discuter de l'intérêt en termes d'analyse et d'actions sur les situations de travail du modèle de double régulation de l'activité de travail. Plusieurs enseignements pour les ergonomes ressortent de cette expérience. D'une part, l'importance de l'observation (et en particulier du temps incompressible que cela nécessite) dans l'analyse des situations de travail concernées en vue d'en extraire les exigences concrètes. D'autre part l'intérêt des modèles en ergonomie (notamment systémiques) comme « garde fou » pour l'intervenant afin d'éviter le risque de cloisonnement dans l'un des critères de la situation de travail (sécurité, fiabilité, etc.).

Mots-clés : assainissement, intervention ergonomique, conception industrielle, environnement.

Human intervention in the operation of industrial processes: issues of performance. Case of a sewage network.

Abstract. From an ergonomic intervention experiment carried out in the field of sewage processing, we will describe how the consideration of human work and its requirements in the design of industrial processes can contribute at once to the reliability, safety, health, worker efficiency, quality of service, and the preservation of the environment. The case of an operating situation of a wastewater network allows to discuss the interest in analysis and action of the "model of dual regulation" of work activity". The most important result is the importance of models supporting a systemic approach to avoid the risk of fragmentation in the criteria of the work situation, like reliability, safety, health, preservation of the environment, etc.

Key words: sewage processing, ergonomic intervention, industrial design, environment.

*Ce texte original a été produit dans le cadre du congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française qui s'est tenu à Paris du 14 au 16 septembre 2011. Il est permis d'en faire une copie papier ou digitale pour un usage pédagogique ou universitaire, en citant la source exacte du document, qui est la suivante : Beaujouan, J. & Querelle, L. (2011). Interventions humaines dans l'exploitation de processus industriels : enjeux de performance ? SELF 2011, Congrès International d'Ergonomie. Paris. 14-16 septembre 2011.

INTRODUCTION

La communication proposée repose essentiellement sur l'exploitation d'une expérience d'intervention ergonomique réalisée dans le domaine de la collecte et l'assainissement des eaux usées.

Nous montrerons comment la prise en compte des interventions humaines ainsi que ses exigences (sur le réseau de collecte) contribuerait dans un contexte de modernisation industrielle autant à la fiabilité et l'efficacité du système, à la santé et la sécurité des agents d'exploitation, ainsi qu'à la préservation de l'environnement.

Les étapes de l'article seront les suivantes :

- Le contexte de la demande d'intervention ergonomique ;
- Quelques caractéristiques du réseau d'assainissement « sous vide d'air » ;
- L'analyse d'une situation dégradée à savoir : l'engorgement du réseau. Cette dernière étant au cœur d'enjeux multiples : sécurité, fiabilité, qualité de service, santé, préservation de l'environnement et risques sanitaires ;
- À partir de cette analyse, plusieurs leviers de transformation envisagés à partir des orientations de l'entreprise seront esquissés ;
- L'intérêt d'une approche systémique des situations de travail afin de prévenir les cloisonnements de ses critères (sécurité des travailleurs, fiabilité des systèmes socio-techniques, etc.) sera discuté. Le modèle de double régulation de l'activité de travail de Leplat (Leplat et Cuny, 1977 ; Leplat, 1997) et son adaptation par Christol et De Terssac sous l'appellation générique de schéma des « 5 carrés » sera au centre de notre développement.

CONTEXTE DE LA DEMANDE D'INTERVENTION

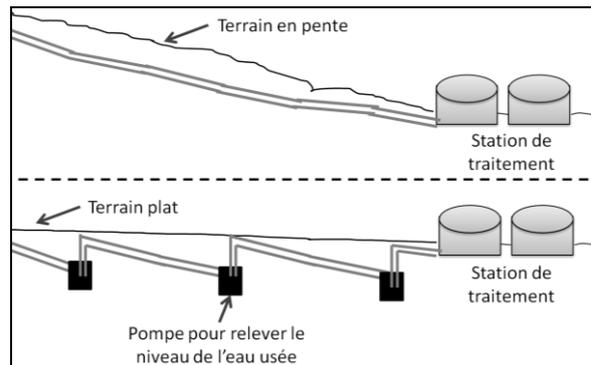
La demande d'intervention émane d'une entreprise dont l'une des missions vise à assurer la collecte et l'assainissement des eaux usées sur différentes communes.

L'appel des ergonomes porte sur une problématique de sécurité, à la suite de plaintes et d'accidents du travail (liés notamment à des glissades dans ce que l'on décrira plus tard par « bâche ») des agents d'exploitation du réseau d'eau usée. Le périmètre de l'intervention concerne en particulier les réseaux d'assainissement « sous vide d'air ». Ces derniers ayant des caractéristiques particulières.

Le réseau d'assainissement « sous vide d'air »

Le réseau d'assainissement « sous vide » est un réseau de collecte des eaux usées alternatif aux réseaux « gravitaires » plus classiques. Ces derniers utilisant au maximum le principe de gravité pour transporter l'eau de son point d'origine (habitations, etc.) à la station d'épuration (figure 1).

Figure 1 : Principe de transport des eaux usées par un réseau d'assainissement gravitaire (vue en coupe).

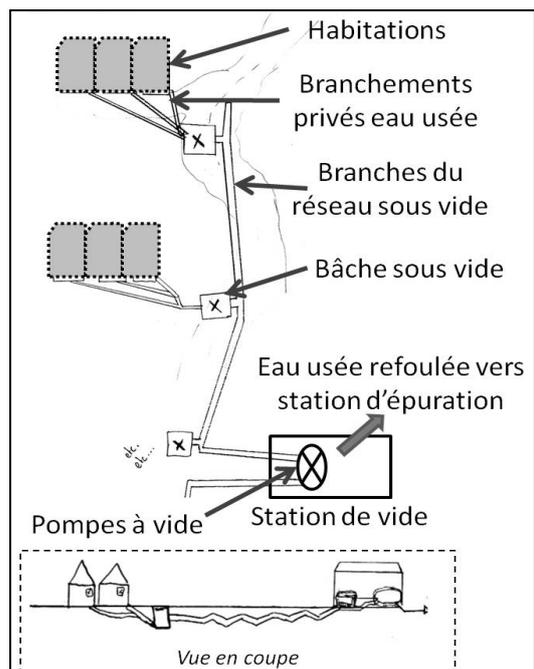


Cependant, certaines configurations topographiques (par exemple un terrain plat et sableux, c'est-à-dire très instable) ne sont pas propices à l'installation de tels ouvrages. Ceci pour plusieurs raisons techniques et économiques (en conception), parmi elles :

- L'instabilité du terrain ;
- Le surcoût d'installation des ouvrages en profondeur (figure 1) pour utiliser le principe de gravité.

Dans ce contexte, le réseau d'assainissement « sous vide d'air » constitue une alternative possible bien qu'elle soit beaucoup plus exigeante en termes d'exploitation. De façon très schématique, le transport de l'eau usée de son point d'origine vers les installations de traitement se réalise essentiellement à partir d'une dépression d'air dans le réseau créée par plusieurs pompes à vide. Cette dépression permet le déplacement de l'eau usée dans un collecteur (tuyau) peu profond sans pente importante (figure 2 vue de coupe).

Figure 2 : Descriptif du système d'assainissement « sous vide d'air » (vue de dessus et en coupe).

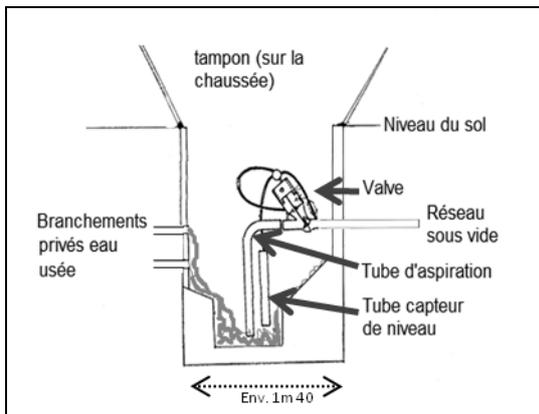


Les baches « sous vide »

Les liaisons entre les branchements privés d'eau usée et le réseau sous vide sont matérialisées par de nombreuses baches « sous vide » (figure 2). La description du fonctionnement « technique » sera utile pour la suite du développement (figure 3) :

- L'eau usée s'écoule de quelques habitations et tombe par gravité dans une bache (1) ;
- La hauteur d'eau augmente dans la bache et déclenche l'ouverture pendant plusieurs secondes d'une valve reliée au conduit en dépression (2) ;
- Il se produit une aspiration de l'eau usée (3) ;
- L'eau usée va être transportée dans le réseau sous vide (4) jusqu'à la station de vide.

Figure 3 : Fonctionnement d'une bache sous-vide.



L'entretien et les dysfonctionnements des baches à remettre en service représentent une grande partie des interventions humaines d'exploitation du réseau.

La demande d'intervention porte principalement sur des problèmes de sécurité à l'intérieur de ces baches (glissades des agents, etc.).

À LA CROISÉE DES RISQUES : L'ENGORGEMENT DU RÉSEAU

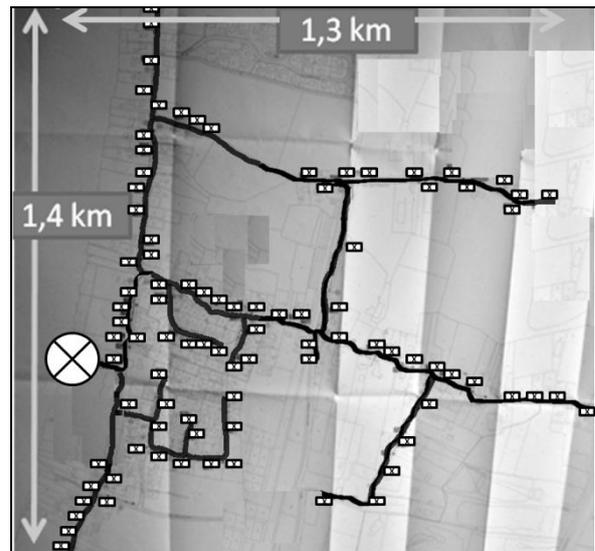
Cet article est centré sur une situation dégradée d'exploitation du réseau (parmi d'autres analysées). Il s'agit de l'engorgement du réseau sous vide dans lequel plusieurs enjeux sont convoqués :

- Sécurité des interventions humaines ;
- Fiabilité des installations ;
- Qualité de service ;
- Préservation de l'environnement ;
- Prévention des risques sanitaires.

Le mécanisme d'effets « cascades »

Les ramifications du réseau sous vide sont en dépression constante afin de pouvoir absorber l'eau usée contenue dans les centaines de baches s'étalant sur plusieurs kilomètres carrés (figure 4).

Figure 4 : Un réseau d'assainissement sous vide avec baches (rectangles) et sa station de vide (rond rayé).

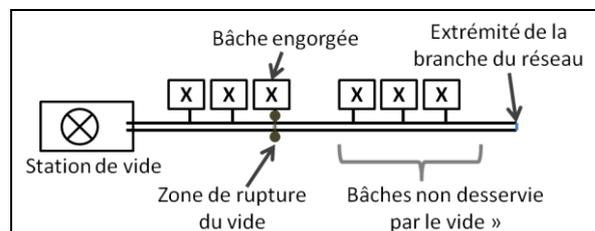


Dans certaines configurations, le volume d'eau accumulé dans les différentes baches est trop important pour que la dépression du réseau puisse l'absorber. Ce mécanisme conduit à « saturer en eau usée » certaines baches car il bloque à la fois :

- L'évacuation de l'eau au sein de la ou des baches en question ;
- L'évacuation de l'eau au sein de l'ensemble des baches situées en « aval » de la branche, c'est-à-dire entre la bache saturée et l'extrémité du réseau (figure 5). L'origine du réseau étant la station de vide symbolisée par un rond barré sur les figures 4 et 5.

Ces mécanismes d'effets cascades saturent les baches (qui se remplissent plus ou moins en continu par évacuation de l'eau usée des lotissements) de proche en proche, jusqu'aux extrémités des branches du réseau.

Figure 5 : Mécanisme d'effets cascades observés (vue de dessus)



Récit d'une situation d'engorgement du réseau

Plusieurs périodes d'observations systématiques, de jours comme de nuits ont permis la reconstruction de la dynamique des interventions des agents d'exploitation sur les situations d'engorgement du réseau afin de le remettre en service.

Nous présentons ci-dessous le récit des étapes précoces de l'engorgement du réseau.

« Nous sommes dimanche matin, il est 8h30 et le week-end est particulièrement pluvieux. Le télécontrôleur reçoit un appel téléphonique d'un client du réseau sous vide inondé par le refoulement des eaux usées dans les WC et la douche. Il appelle d'urgence son collègue l'agent d'astreinte chargé de l'exploitation du réseau [...].

Il est 9h05, l'agent d'astreinte arrive sur site et cible à partir de sa connaissance du réseau les baches susceptibles d'être engorgées à partir de l'adresse du client mécontent. Son diagnostic est orienté. Il part de la station de vide, puis suit la branche du réseau concernée et soulève le tampon de chaque bache une à une (environ une trentaine) pour identifier visuellement à l'intérieur celles qui seraient saturées. Ceci jusqu'aux extrémités de la branche du réseau.

Il est 9h50, l'agent identifie une première bache saturée. Pour gérer l'urgence il réalise un pompage manuel qui dure 30 minutes sans hydrocureuse (camion-citerne « aspirateur d'eau usée »), seulement à partir de petites reprises du vide dans le réseau.

Il faut sécher et changer l'ensemble des composants de la bache pour la remettre en service ce qui correspond à pas moins de 14 entrées et 14 sorties en moyenne à l'intérieur de chaque bache à remettre en service (approvisionnement, évacuation, contrôle matériel multiple, etc.).

Il est 10h35 la bache saturée est remise en service. C'est en soulevant le tampon de la bache voisine de celle remise en service que l'agent s'aperçoit qu'elle est aussi saturée d'eau. Il décide de diagnostiquer les zones sensibles du réseau [...].

Il est 14h18 l'agent a identifié plus d'une trentaine de baches quasiment saturées par effets cascades et qui continuent à se remplir petit à petit. Il décide d'appeler l'agent de maîtrise d'astreinte. [...] »

La remise en service du réseau aura duré 3 jours et 2 nuits avec :

- Plus de 53 heures de travail dont 33 heures d'astreinte des agents d'exploitation ;
- 1184 entrées et extraction des agents à l'intérieur des baches pour la plupart sur la voie publique afin de les remettre en service ;
- Des clients inondés pendant plusieurs jours ;
- La mobilisation d'une hydrocureuse ;
- Le changement de nombreux composants très coûteux pour les baches saturées en eau.

La remise en service du réseau au cœur des régulations humaines

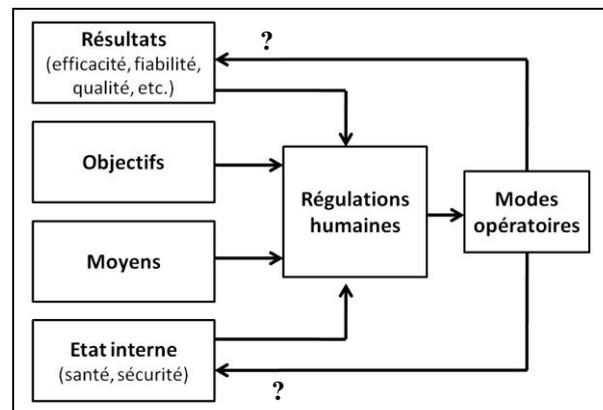
L'analyse des situations d'exploitation du réseau souligne de nombreuses difficultés des agents à contenir à la fois les effets cascades de saturation des baches et la remise en service des installations noyées sous l'eau.

Ces exigences accentuent la complexité pour les agents d'exploitation soumis à des contraintes temporelles fortes, de jour comme de nuit, de tenir à la fois les logiques de fiabilité concernant la remise en service des baches, la sécurité et l'efficacité des interventions sur chaque bache, la qualité de service

rendue aux clients, ou encore la préservation de l'environnement.

Plusieurs régulations humaines « non équilibrées » de remise en service du réseau ont été analysées à la suite des effets cascades évoqués dans le récit précédent. Le terme « non équilibrées » traduit l'impossibilité pour l'agent de tenir dans la situation rencontrée toutes les logiques : à la fois les objectifs qui lui sont assignés et la préservation de son état interne. Les compromis opératoires adoptés (dynamiques) vont mettre en défaut soit son état interne, soit l'atteinte des objectifs fixés, soit ces deux composantes, notamment lorsque les caractéristiques de la situation (dégradée) et les moyens dont dispose l'agent ne lui permettent pas de faire autrement (figure 6).

Figure 6 : La régulation humaine extrait de l'ouvrage *Comprendre le travail pour le transformer* (Guérin, Laville, Daniellou, Duraffourg, & Kerguelen, 1991).
Les flèches sont à lire $a \rightarrow b$, b dépend de a .



Quatre principales classes de régulation humaine non équilibrée ont été identifiées pendant la remise en service du réseau :

- Compromis entre l'efficacité de remise en service du réseau et la préservation de l'environnement (1) ;
- Compromis entre l'efficacité de remise en service du réseau et la fiabilité du système (2) ;
- Compromis entre l'efficacité de remise en service du réseau et la qualité de service rendue (3) ;
- Compromis entre l'efficacité de remise en service du réseau et la sécurité des interventions sur les installations (4).

Arbitrage entre efficacité de la remise en service et préservation de l'environnement

La rapidité de remise en service des baches gorgées d'eau est un enjeu important pour les agents d'exploitation en vue de diminuer les risques d'apparition de nouveaux effets cascades des baches situées en aval.

Lorsqu'ils ont à disposition une hydrocureuse, ils dégorgent beaucoup plus rapidement les baches que manuellement (récit évoqué ci-dessus). Mais, la citerne a un volume limité qui exige lorsqu'elle est pleine d'être évacuée dans une station d'épuration

située à plusieurs dizaines de kilomètres du site d'intervention. Or chaque minute est précieuse et déterminante pour éviter de nouveaux effets cascades.

Dans certains cas exceptionnels, l'agent est amené à vider la citerne de l'hydrocureuse dans le fossé le plus proche (pour aspirer le plus rapidement d'autres bâches pleines) et afin d'éviter les effets cascades.

Il réalise ainsi un compromis ayant des effets sur l'efficacité de la remise en service du réseau, au détriment de l'environnement en accentuant les risques sanitaires dus au rejet d'eau usée en milieu naturel à proximité d'habitations.

Arbitrage entre efficacité et fiabilité de la remise en service

La remise en service de chacune des bâches implique comme nous l'avons décrit plus haut le séchage, le changement éventuel, le remontage et le réglage des composants intérieurs de la bache (valve, etc.). Toujours dans l'optique de vider en un minimum de temps le plus de bâches pleines pour enrayer les effets cascades, les agents sont parfois amenés à sécher partiellement les composants, à réaliser des réglages plus ou moins précis.

Ils privilégient l'enrayement des effets cascades (interventions les plus rapides possibles), à la fiabilité à court terme du réseau (susceptible de tomber en défaut par exemple à cause d'une valve humide remontée, et qu'il aurait fallu sécher totalement, ou d'un réglage approximatif de son temps d'ouverture).

Arbitrage entre efficacité de la remise en service et qualité de service

Les observations réalisées montrent que les agents sont amenés à « sacrifier » certains clients pour enrayer les effets cascades et diminuer le temps de remise en service du réseau. Ils procèdent à des isollements de bâches identifiées par expériences comme « stratégiques » (car recueillant des volumes importants d'eau usée) qui ne sont par conséquent plus raccordées temporairement au réseau.

Les lotissements branchés à ces bâches ne peuvent plus évacuer leurs eaux usées. Ceci se traduisant par de nombreux refoulements au sein des habitations concernées.

Cette situation s'est prolongée pour certains clients pendant les quatre jours nécessaires à la remise en service du réseau (récit évoqué).

Arbitrage entre efficacité de la remise en service et sécurité des interventions

Les contraintes temporelles auxquelles sont confrontés les agents pour limiter les effets cascades ont un impact élevé sur les modes opératoires utilisés par ces derniers, malgré leur volonté de respecter les procédures de sécurité d'intervention sur la voie publique. Par exemple pour chaque intervention sur une bache, l'agent doit disposer en amont et en aval de son véhicule un panneau sur la voie publique informant un danger. Or, en situation d'engorgement du réseau, chaque minute compte et la moindre découverte de début d'engorgement d'une bache est,

dans ces conditions particulières, gérée dans l'urgence sans sécurisation du périmètre d'intervention. Cette régulation favorisant la réactivité de l'agent diminue le risque d'effets cascades au détriment de sa sécurité.

Déterminants des effets cascades

L'anticipation et / ou l'enrayement des effets cascades de saturation du réseau sont au cœur des préoccupations des agents. Ils déterminent de façon importante les régulations humaines évoquées.

La principale raison d'engorgement d'une bache (en dehors des effets cascades décrits à la figure 5) est un volume d'eau à évacuer bien supérieur à celui qui est en mesure d'être évacué par le vide créé dans la branche du réseau. Plusieurs facteurs contribuent à ce phénomène par temps pluvieux :

- L'infiltration d'eau parasite venant du sol, car les bâches sont imperméables (défaut de conception, micro fissures, etc.) ;
- L'infiltration d'eau parasite ayant pour origine des fossés qui débordent et remplissent la bache en point haut (leur entretien irrégulier diminue leur capacité drainante) ;
- La récupération d'eau pluviale parasite de branchements privés non conformes (exigeant une séparation eau pluviale et eau usée).

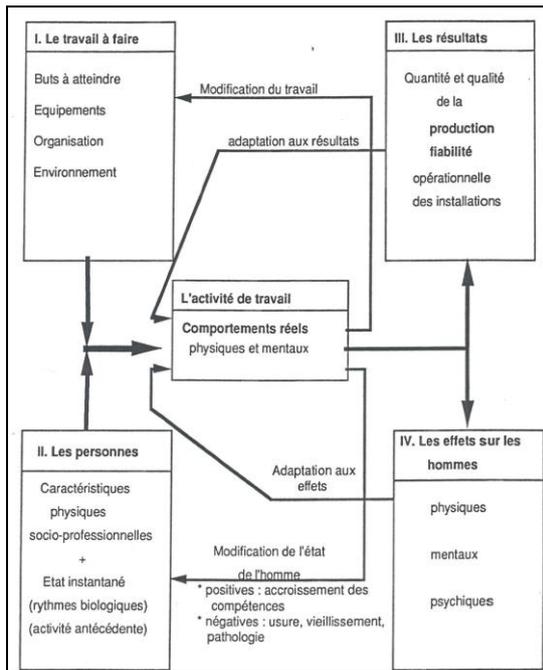
La figure 5 a souligné les effets cascades provoqués sur les bâches en aval de celle qui a été saturée. L'analyse de l'existant montre que les agents n'ont aucune information dynamique concernant l'état d'engorgement du réseau. La seule information dont ils disposent à distance est l'appel d'un client mécontent. Il faut compter plusieurs heures après la saturation d'une bache pour qu'un client puisse détecter un refoulement. En d'autres termes, les effets cascades ont eu le temps de se démultiplier lorsque les agents en prennent connaissance, avec toutes les conséquences associées du récit décrit ci-dessus.

L'analyse ergonomique du travail : une approche systémique

Les arbitrages des agents sont complexes et doivent être compris dans leur contexte par l'ergonome. Il s'agit, en vue de transformer les situations de travail, de bien comprendre les réels déterminants des comportements humains observés compte tenu des régulations mises en place et de leurs effets sur l'état interne des agents et les résultats obtenus (fiabilité, efficacité, qualité, préservation de l'environnement).

Le modèle de double régulation de l'activité (Leplat & Cuny, 1977 ; Leplat, 1997) adapté par Christol & De Terssac et intitulé par les praticiens schéma à « 5 carrés » permet de réinterroger du point de vue de l'analyse le caractère a priori disjoint et linéaire des effets du travail (en termes de fiabilité, de qualité, de risque sanitaire, de sécurité, etc.), de ses déterminants et des caractéristiques de l'activité de travail.

Figure 7 : Schéma à 5 carrés d'après Christol et De Terssac (adapté de Leplat et Cuny, 1977)



Christol insiste lourdement sur l'importance des 5 carrés, mais surtout des flèches qui les relient comme composantes essentielles des propriétés systémiques et dynamiques du modèle.

Cette perspective invite à « décloisonner » les effets du travail pour les envisager dans un tout qui fait système et à partir duquel des transformations à la suite d'orientations de l'entreprise peuvent être envisageables.

Dans notre cas, il s'agissait de travailler, parmi d'autres axes non évoqués ici, sur les déterminants des mécanismes d'engorgement en cascades du réseau. Ceci, pour limiter les régulations humaines non équilibrées ayant tantôt des effets non souhaités sur la fiabilité, la sécurité, ou encore l'environnement, pour ne prendre que ces exemples. Parmi les déterminants identifiés et les besoins associés :

- La limitation des infiltrations d'eau parasite dans la bâche ;
 - o Entretien des fossés n'assurant plus leur fonction drainante ;
 - o Contrôle des branchements privés au réseau (eau usée et non pas eau pluviale) ;
 - o Réparation des bâches perméables ;
- La détection précoce par les agents d'exploitation des bâches en début de saturation ;

CONCLUSION

Cette expérience d'intervention soulève plusieurs enseignements pour la pratique du métier d'ergonome :

- L'importance de l'observation (prolongée) pour comprendre les caractéristiques des situations de travail concernées par la demande formulée en vue d'en extraire leurs exigences concrètes ;

- L'utilité et l'intérêt des modèles dont nous disposons pour comprendre, décortiquer et analyser les situations auxquelles nous sommes confrontés. Il s'agissait dans ce cas, pour une "intervention en réponse à un problème" (que je distinguerais volontairement d'une "intervention pour un projet"), du schéma à cinq carrés (et des flèches !), utilisé *in situ* comme cadre d'analyse.

Les demandes formulées par les entreprises, lorsqu'il s'agit d'un problème ou d'une difficulté qu'elles rencontrent, sont bien souvent centrées sur l'un des critères du travail (dans le cas évoqué, la sécurité).

Le premier écueil pour l'ergonome est de rester enfermé dans l'un de ces critères.

Le schéma à cinq carrés invite à porter un autre regard sur les situations de travail.

Cette "paire de lunettes", pour reprendre les termes de Jacques Duraffourg, permettrait, **sous réserve de passer du temps à observer le travail humain**, de décloisonner ses effets, de remplacer une approche linéaire de type "cause effet", par une approche systémique entre déterminants, activité déployée par les travailleurs et effets produits sur eux-mêmes, l'entreprise, les clients ou encore l'environnement.

De notre point de vue, les constats permis par cette intervention ouvrent un débat de fond sur la spécialisation de la pratique des ergonomes orientées uniquement sur l'un des critères du travail, par exemple ceux qui traiteraient les questions de "fiabilité", ceux qui traiteraient les questions liées à la "sécurité des travailleurs", ou pour ne prendre que ces exemples, ceux qui seraient spécialisés dans "la prévention des risques environnementaux"?

Sommes-nous vraiment spécialistes de l'un de ses critères ?

Notre compétence d'ergonome à analyser le travail humain nous permet sans doute de discuter de l'ensemble de ces critères dans une perspective systémique, c'est à dire impliquant la compréhension de relations complexes et dynamiques entre déterminants, activité de travail et effets.

Le « Travail » nous rappelle, au travers de cette intervention, qu'il est à envisager comme un système qui nécessite la mobilisation d'un ensemble de critères pour le transformer. Il serait alors artificiel voire néfaste de morceler l'approche ergonomique au profit de points de vue trop restrictifs.

BIBLIOGRAPHIE

Christol, J., Dorel, Y., & De Terssac, G. (1979). Horaires de travail et régulations des conduites. *Le Travail Humain*, 42 (2), 211-229.

Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Duraffourg, J., & Kerguelen, A. (1991/2006). *Comprendre le travail pour le transformer. La pratique de l'ergonomie*. Lyon: Éditions de l'ANACT.

Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. Paris: PUF.

Leplat, J., & Cuny, X. (1977). *Introduction à la psychologie du travail*. Paris: PUF

