

MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DES LOCAUX DE TRAVAIL - OUTIL D'AIDE À L'ÉLABORATION DU PROGRAMME

La prévention des risques professionnels doit être intégrée dès la phase d'élaboration du cahier des charges fonctionnel (programme) d'un local de travail, d'un atelier ou d'un bâtiment industriel, dans la mesure où un certain nombre d'options sont ensuite irréversibles. Pour l'élaboration du programme, le maître d'ouvrage a besoin d'outils lui permettant d'envisager et d'évaluer rapidement différents scénarios d'implantation des bâtiments, du process et d'organisation des flux afin d'identifier très en amont les options les plus performantes sur le plan technico-économique et sur le plan de la prévention des risques professionnels. Pour ce faire, il dispose d'informations et d'outils dont les domaines d'application et la complexité sont très variés [1, 2, 3, 4, 5]. L'Institution Prévention a en particulier édité un guide de conception des lieux de travail [5] qui prend en compte tous les aspects de la prévention, allant de la circulation intérieure à l'ergonomie des postes de travail. Cependant, cette brochure renvoie le concepteur à divers documents, guides techniques ou logiciels informatiques souvent mal adaptés à l'étape du programme car ils nécessitent une connaissance trop détaillée du projet et sont trop lourds à mettre en œuvre [6, 7].

L'utilisation d'un outil informatique permettant d'élaborer rapidement une « maquette » du projet, d'identifier les risques potentiels, de proposer et d'évaluer différents moyens de prévention devrait faciliter la tâche du maître d'ouvrage dans l'élaboration du programme. C'est l'objet du projet MECOLTRA développé actuellement par l'INRS et présenté dans cet article.

MÉTHODE

La méthode se focalise sur les éléments importants et irréversibles de la conception : l'implantation du procédé, l'éclairage naturel, le bruit, la ventilation et le confort thermique. Elle analyse, en premier lieu, le procédé, par le biais de l'étude d'implantation, elle identifie ensuite les risques potentiels et elle propose enfin des solutions permettant de les réduire. L'évaluation des risques potentiels est réalisée à l'aide d'une méthode de scores.

Le score est un indicateur numérique qui permet d'évaluer la qualité du programme du point de vue de l'hygiène et de la sécurité. Il caractérise l'accroissement du risque auquel sont exposés les salariés travaillant dans un atelier spécifié par rapport à un atelier optimisé sur le plan de la prévention. MECOLTRA utilise donc cinq types de score, correspondant à chaque discipline concernée. Le score permet d'identifier l'impact de toute modification du programme sur les scores des autres disciplines, par exemple, l'influence d'un traitement acoustique d'un local sur le score correspondant à l'éclairage naturel. Le score facilite donc la recherche de compromis entre les différentes contraintes de prévention.

- Local de travail
- Conception
- Logiciel

- ▶ Jean-Raymond FONTAINE, Roland RAPP, INRS, département Ingénierie des procédés
- ▶ Serge SALSU, Vincent PLANEAU, INRS, département Ingénierie des équipements de travail

WORKPLACE DESIGN METHODOLOGY - AID TO PROGRAMME DEVELOPMENT

Occupational risk prevention must be integrated right from the functional specification (programme) preparation phase for a workshop, workshop or industrial building because a number of options become irreversible thereafter. The client requires programme preparation tools allowing him to envisage and assess quickly different layout scenarios for both building and process layout and flow organization, to identify far upstream the options offering optimum performance on engineering-economic and occupational risk prevention levels. To do this, information and tools with widely varying areas of application and of different degrees of complexity are available to him [1 - 5]. The prevention institution has specifically edited a workplace design guide [5], which considers all prevention aspects ranging from internal movement to work station ergonomics. However, this guide refers the designer to various documents, technical guides or computer software, which are often ill-suited to the programme phase because they require excessively detailed knowledge of the project and are too heavy to implement [6, 7].

Use of a computing tool allowing rapid preparation of a project "model", identification of potential risks, proposal and assessment of different prevention means should facilitate the client's work in preparing the programme. This is the purpose of the MECOLTRA project, currently under development by INRS and introduced in this paper.

- Workplace
- Design
- Software

MECOLTRA est organisé de la manière suivante : l'utilisateur décrit son projet de conception à l'aide du module "implantation". L'analyse du procédé industriel le conduit à définir différents secteurs à implanter (fabrication, circulation, ambiances physique ou chimique défavorables, support à la fabrication, transport...). Pour ces différents secteurs, l'utilisateur définit des contraintes de proximité ou d'éloignement ainsi que des flux de matières et compose une première implantation affectée d'un score. L'opérateur peut ensuite modifier la disposition des secteurs afin d'optimiser l'implantation, par le suivi du score qui qualifie les déplacements effectués.

L'utilisateur soumet ensuite le projet à l'analyse des autres modules (acoustique, ventilation et éclairage naturel) et évalue, à l'aide de leurs scores respectifs, l'impact de démarches correctives successives (dimensions et implantation des prises de jour, mise en place d'un encoffrement, d'un captage localisé, cloisonnement d'un secteur...).

Le score thermique représente les besoins énergétiques nécessaires à l'obtention du confort thermique, il résulte à la fois du bâtiment, de l'éclairage naturel, du procédé et de la ventilation. Il est donc examiné en fin de boucle.

Si, au terme d'une première boucle, le score implantation a été trop dégradé, une itération supplémentaire, prenant en compte les différentes démarches correctives précitées, peut être envisagée. L'utilisateur arrête les itérations lorsqu'il juge les solutions proposées par les différents modules satisfaisantes.

CONCEPTS DE BASE DES SCORES

Score implantation générale

C'est un indicateur numérique qui permet d'évaluer le respect des contraintes de proximité ou d'éloignement des différents secteurs liés au process et à sa mise en œuvre dans des conditions de sécurité [8].

Score acoustique

À chaque secteur sont affectées une ambiance sonore recommandée (bureau ou atelier) et une ambiance sonore

produite par les activités exercées dans les différents secteurs (peu bruyante, bruyante et très bruyante). Ce classement des ambiances sonores recommandées et produites permet d'affecter un score bruit élémentaire à chaque secteur à l'aide d'une grille de correspondance. La somme de ces scores, pondérés par l'effectif du secteur, donne un score acoustique global. Ce dernier peut être amélioré par la mise en place d'un traitement acoustique lourd ou léger. Un capotage sera assimilé à un traitement acoustique léger quelle que soit l'activité encoffrée. Par contre, le recours à des processus particuliers de traitement acoustique d'une activité (dalle flottante, encoffrement global, chambre close spéciale...) est considéré comme un traitement acoustique lourd.

Score ventilation

Ce score mesure l'impact des activités d'un secteur sur les besoins en ventilation dans tous les secteurs définis par le module implantation. Un score de base, déterminé à partir d'une évaluation simple des nuisances induites par l'activité (dangerosité des produits utilisés), est attribué à chaque secteur. Le score global du projet est déduit des effectifs et des scores de base des différents secteurs. Il peut être réduit par la mise en œuvre d'un système de ventilation : encoffrement et captage, captage inducteur, ventilation générale.

Score thermique

Le calcul du score thermique repose sur un bilan thermique simplifié du local de travail. Il est optimal lorsque les apports ou les évacuations de calories, nécessaires pour maintenir le local à une température interne spécifiée, sont nuls.

Score éclairage naturel

À chaque secteur est associée une contrainte d'éclairement dépendant de l'activité exercée. La méthode de calcul consiste à déterminer les surfaces des prises de jour à mettre en œuvre (sur les parois définies par l'utilisateur) afin de vérifier au mieux, sur une année, les contraintes d'éclairements. Le score final est représentatif du respect de contraintes d'éclairement minimal.

REMARQUE

Afin de pouvoir évaluer les interactions entre les différents modules, les scores ont été normalisés sur une échelle de 0 à 100, cette dernière valeur étant l'optimum.

MÉTHODE DE CALCUL DES SCORES

Dans un souci de concision, la méthode de calcul des scores ne sera illustrée que pour trois des cinq domaines de prévention pris en compte par MECOLTRA : « implantation », « ventilation » et « thermique » au travers d'un exemple.

Score implantation

L'implantation d'un projet industriel s'effectue en quatre étapes :

Étape 1 : définition des entités ou secteurs à implanter (ateliers, partie d'atelier, machine, équipement, ...).

Étape 2 : réalisation d'un tableau des relations fonctionnelles de proximité ou d'éloignement entre les secteurs.

Les contraintes de proximité sont définies en utilisant cinq niveaux :

- NAI – Proximité absolument nécessaire,
- NVI – Proximité très importante,
- NI – Proximité importante,
- DAI – Éloignement absolument nécessaire,
- DVI – Éloignement très important.

Étape 3 : Projet d'implantation fonctionnelle des secteurs déterminé par le logiciel.

Le logiciel fournit un schéma d'implantation fonctionnel indépendant des surfaces des secteurs (cf. Figure 1).

Étape 4 : Projet d'implantation générale des secteurs.

En prenant en compte les surfaces, scores partiels et surfaces des secteurs (cf. Figure 4), le logiciel fournit automatiquement un projet d'implantation générale. Celui-ci peut ensuite être modifié manuellement par l'utilisateur via l'interface graphique, le logiciel indiquant à chaque étape l'évolution du score « implantation » correspondante (cf. Figures 2 et 3).

Score ventilation

Il résulte des dispositifs de ventilation mis en œuvre pour la prévention du risque chimique et de l'inconfort dû aux sources thermiques convectives.

Risque Chimique

Le danger est évalué à partir de l'étiquetage des produits utilisés par le procédé. Quatre classes de danger ont été retenues :

- produits sans phrase de risque (type 1),
- produits irritants (type 2),
- produits toxiques (type 3),
- produits de type CMR (cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction - type 4).

Les produits de type 4 sont hors du champ d'application de la méthodologie MECOLTRA, la réglementation imposant une démarche de prévention spécifique (articles R. 231-56 à R. 231-56-12 du Code du travail).

Pour chaque secteur, un score de base est attribué en fonction de la dangerosité des produits (type) et du nombre de salariés effectivement présents. Le score global d'un local est la somme des scores des différents secteurs qui le composent.

Mesures de prévention

Le score peut ensuite être amélioré en mettant en œuvre des moyens de prévention basés sur la ventilation et le captage.

Trois types de ventilation générale applicables sur l'ensemble de l'atelier sont prévus :

- simple apport hygiénique d'air pour les salariés présents dans le local (VG1),
- extraction mécanique générale d'air dans l'atelier (VG2),
- extraction mécanique avec système de compensation mécanique de l'air extrait (VG3).

Pour chaque secteur deux types de captage localisés sont prévus :

- captage inducteur avec ou sans compensation mécanique de l'air extrait (CL1),
- captage enveloppant avec ou sans compensation mécanique de l'air extrait (CL2).

Les débits de la ventilation générale ou des captages localisés peuvent être

modulés par l'utilisateur en fonction du besoin : échelle à trois niveaux pour la ventilation générale et à quatre niveaux pour les captages localisés. Lorsque les valeurs de débit sont connues, elles peuvent également être entrées dans le logiciel. L'amélioration du score est croissante lorsque l'on balaie les systèmes VG1, VG2, VG3, CL1 CL2 ou lorsque l'on augmente les débits. Il est recommandé d'associer captage localisé et ventilation générale.

Sources thermiques convectives

Les procédés émettant de la chaleur par convection peuvent être à l'origine d'inconfort thermique. Sur le plan de la prévention, ils peuvent être traités par la ventilation et le captage.

MECOLTRA traite ces sources thermiques convectives comme des sources de polluant de type 2.

Les sources thermiques convectives et les moyens de prévention associés interviennent dans le calcul du score ventilation.

Score thermique

Le calcul de ce score résulte d'un bilan simplifié des échanges thermiques au sein de l'atelier. Il est optimal lorsque les apports ou évacuations de calories nécessaires à l'obtention d'une température de consigne à l'intérieur du local sont nuls.

Ce bilan tient compte des échanges thermiques par :

- renouvellement d'air,
- transmission par les parois,
- charge interne (procédé),
- apports solaires par vitrages (score été).

Les données d'entrée relatives au bâtiment concernent :

- l'isolation des murs et de la toiture (quatre niveaux d'isolation),
- le type de vitrage des ouvertures placées en toiture et sur les murs (quatre types),
- la présence d'écran sur les surfaces exposées au soleil.

Les données relatives aux sources thermiques internes sont issues des informations fournies lors de la mise en œuvre du calcul du score ventilation ; la puissance des sources peut être définie sur une échelle à cinq niveaux ou peut être fournie par l'utilisateur.

Les échanges par renouvellement d'air sont évalués à partir des débits de ventilation mis en œuvre pour réduire le risque chimique (module ventilation).

EXEMPLE D'APPLICATION – ATELIER DE FABRICATION DE COMPOSANTS EN CAOUTCHOUC

DESCRIPTION SOMMAIRE DU PROJET

Un atelier de fabrication de composants en caoutchouc comprend les secteurs suivants :

- extrusion – secteur rassemblant des lignes de vulcanisation en continu à air chaud ainsi que quelques lignes d'extrusion pour la fabrication de pièces qui sont ensuite vulcanisées en autoclave ;
- autoclaves – secteur où sont situées les autoclaves pour la vulcanisation des produits issus du secteur « Extrusion » ;
- bains de sels – secteur où se déroulent les procédés de vulcanisation en continu par immersion dans des bains de sels fondus. Ces lignes sont peu utilisées ;
- presses – secteur comprenant la fabrication de composants par injection dans des presses à démoulage automatique ;
- stockage – secteur où sont stockés les produits avant expédition.

Les contraintes de proximité

En fonction du type de pièces fabriquées, les contraintes de proximité entre la fabrication et le stockage ont été définies comme suit :

- NAI : stockage – autoclaves,
- NVI : stockage – presses,
- NI : stockage – bains de sels,
- NI : bains de sels – extrusion :

Les secteurs « bains de sels » et « extrusion » étant pilotés par les mêmes opérateurs une liaison de type NI a été retenue entre ces deux entités,

- NVI : extrusion et autoclaves :

Les produits issus du secteur « extrusion » étant ensuite vulcanisés en autoclave, une liaison de type NVI a été fixée entre ces deux secteurs.

L'évaluation des dangers vis-à-vis des produits chimiques

Tous les secteurs, à l'exception du « stockage », contiennent des procédés de vulcanisation qui sont à l'origine d'émissions de chaleur et de polluants. L'examen des produits et procédés de vulcanisation a permis de vérifier que les produits chimiques potentiellement émis étaient toxiques (type 3) mais n'étaient pas classés CMR.

IMPLANTATION

Entrée des données relatives à l'implantation du procédé

- ▣ Définition des secteurs et des surfaces associées ;
- ▣ Définition des contraintes de proximité et d'éloignement.

Réalisation de l'implantation fonctionnelle avec MECOLTRA

Le schéma d'implantation fonctionnelle fourni par le logiciel est présenté *Figure 1*.

Réalisation d'une première implantation (en tenant compte des surfaces des secteurs)

Le score est de 80 %, la contrainte de proximité presses - stockage n'est pas respectée (*cf. Figure 2*).

Amélioration de l'implantation

Une modification manuelle de l'implantation des secteurs permet de respecter toutes les contraintes et le score correspondant est de 100 % (*cf. Figure 3*).

FIGURE 1

Schéma d'implantation fonctionnelle fourni par le logiciel

Liaisons : rouge NAI ; vert NVI ; bleu NI

Functional layout diagram given by software programme

Links: red NAI; green NVI; blue NI

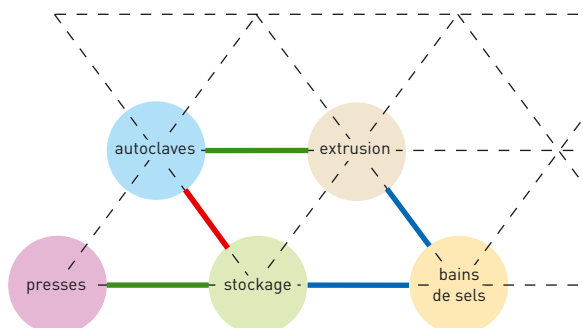


FIGURE 2

Première implantation – score 80 %

Initial layout – score 80%

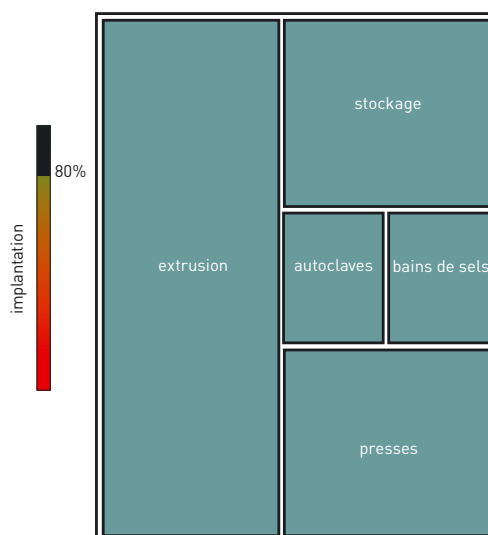


FIGURE 3

Correction de l'implantation – score 100 %

Correction of layout – score 100%



VENTILATION – THERMIQUE

Entrée des données relatives aux sources de danger (polluants chimiques) et aux sources d'inconfort (thermique)

Extrusion – polluant type 3 et source thermique de 460 kW.

Autoclaves – polluant type 3 et source thermique de 20 kW.

Bains de sels – polluant type 3 et source thermique de 60 kW.

Presses – polluant type 3 et source thermique de 45 kW.

Stockage – produits sans phrase de risque (type 1) et absence de source thermique.

Calcul des scores ventilation et thermique en l'absence de ventilation et captage

Le score ventilation est de 0,3 % et les secteurs qui le pénalisent le plus apparaissent en rouge (cf. Figure 4). Ils correspondent aux zones où le procédé génère des sources de polluants et des sources thermiques. Le score thermique est de 82 %.

Cas 1 : Mise en place d'une ventilation générale (débit niveau 3)

La première mesure envisagée correspond à la mise en place d'une ventilation générale de niveau élevé. Le score ventilation s'est légèrement amélioré (6,8 %). Par contre, le score thermique s'est dégradé à cause d'un débit élevé d'air neuf à chauffer en hiver (cf. Figure 5).

FIGURE 4

Score thermique et ventilation en l'absence de moyen de prévention
Ventilation and thermal score without prevention means

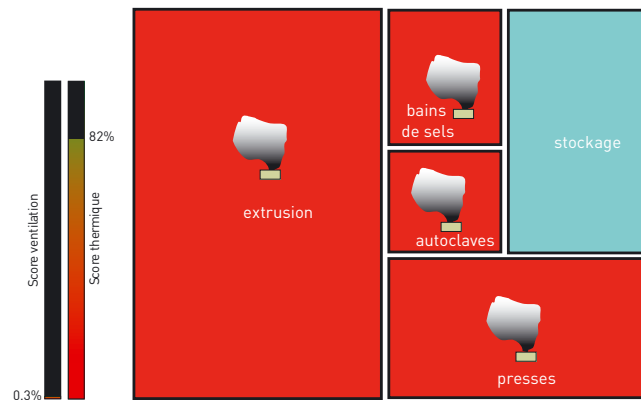
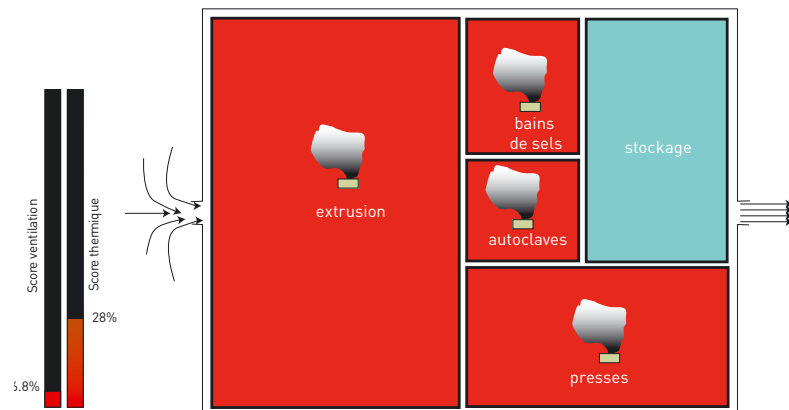


FIGURE 5

Scores ventilation et thermique cas 1
Case 1 – ventilation and thermal scores



Cas 2 : Ventilation générale niveau 1 et captage inducteur de niveau 1 sur toutes les sources

La seconde proposition consiste à placer un captage inducteur au voisinage de chaque source (thermique et de polluants) et de réduire le débit de la ventilation générale. Les débits des captages localisés et de la ventilation générale sont de niveau 1.

Le score ventilation est à présent de 77 % (cf. Figure 6). Le logiciel permet effectivement d'orienter l'opérateur vers le moyen de prévention le plus adapté à la configuration de l'atelier à savoir un captage au voisinage de chaque source accompagné d'une ventilation générale ayant pour objectif de réduire la pollution résiduelle, d'assurer l'apport d'air de compensation et de satisfaire le besoin en air neuf des opérateurs.

L'amélioration de l'efficacité du système de ventilation permet de réduire les débits et donc d'améliorer le score thermique qui est à présent de 79 %.

Cas 3 : Idem cas 2 avec mise en place d'une isolation thermique des murs de niveaux

Le score thermique peut encore être amélioré en prévoyant une isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment (isolation de niveau 1). Cette dernière modification permet d'atteindre la valeur de 88 % (cf. Figure 7).

Après chaque modification des moyens de prévention prévus au programme, MECOLTRA fournit un diagramme en araignée avec les cinq scores (cf. Figure 8).

Cet exemple a permis d'illustrer le fonctionnement du logiciel, l'amélioration interactive du programme et l'interaction éventuelle entre les moyens de prévention associés aux différentes disciplines.

FIGURE 6

Scores ventilation et thermique cas 2
Case 2 - ventilation and thermal scores

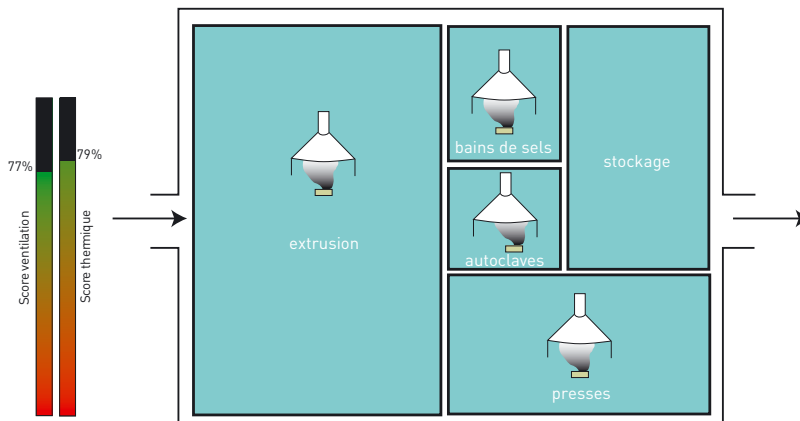


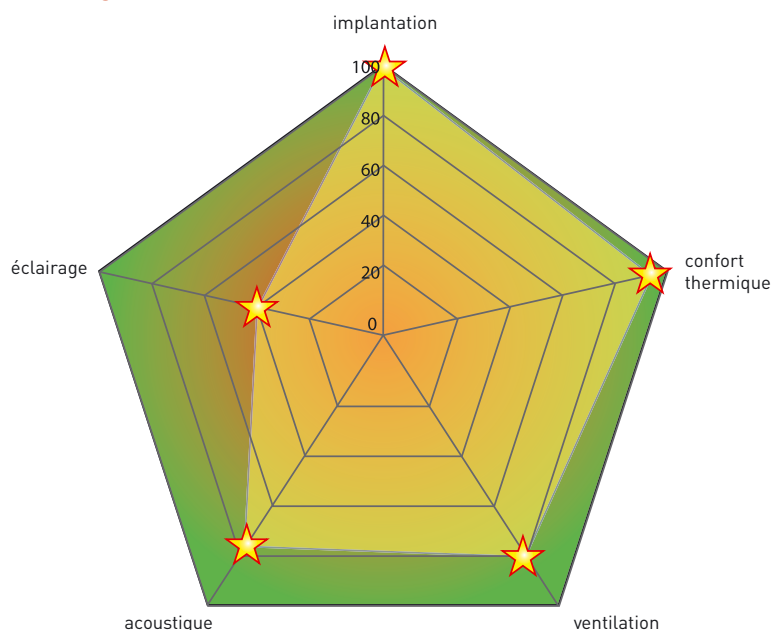
FIGURE 7

Scores ventilation et thermique cas 2
Case 3 - ventilation and thermal scores



FIGURE 8

Diagramme en araignée avec les cinq valeurs de scores
Spider's web diagram with five scores



DISCUSSION

La méthodologie générale ainsi que les méthodes de calcul des scores constituent l'outil logiciel MECOLTRA en cours de finalisation. Une fois terminé, ce logiciel sera ensuite validé sur le terrain en partenariat avec les services prévention des Caisses Régionales d'Assurance Maladie (CRAM).

Les principaux objectifs de cette validation sont de vérifier si :

- le score permet d'identifier des solutions respectant les principes de prévention,
- les données nécessaires pour dérouler la méthodologie sont accessibles au maître d'ouvrage,
- l'information fournie par la méthodologie est directement exploitable par le maître d'ouvrage ou son assistant pour rédiger le programme,

■ le temps de mise en œuvre de la méthode est compatible avec le temps habituellement passé pour rédiger un programme intégrant les contraintes de prévention.

Au terme de cette phase de validation, une politique de valorisation et de diffusion du logiciel sera définie.

Reçu le : 29/08/2006

Accepté le : 15/09/2006

BIBLIOGRAPHIE

[1] CRAM Rhône-Alpes - Programmer la prévention. Brochure Arch'enge, 1994.

[2] Conception et aménagement des postes de travail - ED 79, 1999.

[3] COLTRA - Conception des lieux de travail CD3, INRS Paris 1998.

[4] Conception des lieux de travail - Obligation des maîtres d'ouvrage. Réglementation - ED 773, INRS Paris 1996.

[5] Conception des lieux de travail et sécurité - Démarches, méthodes et connaissances techniques - ED 718, INRS Paris 2000.

[6] A.M. ONDET, J.L. BARBRY - Modeling of sound propagation in fitted workshops using ray tracing. *Journal of Acoustical Society of America*, 1989, 85, 2, pp. 787-796.

[7] J.R. FONTAINE, R. BRACONNIER, R. RAPP, G. AUBERTIN - EOL : un logiciel de ventilation prévisionnelle applicable à l'assainissement de l'air des locaux de travail. INRS Paris, 1996, Cahiers des Notes Documentaires, 2029-165-96, pp. 409-424.

[8] C. TERRIER - Implantation des lieux de travail - Fiche pratique de sécurité - ED 104, INRS Paris 2003.