

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 96 (1998)

**Heft:** 6

**Artikel:** Propagation des erreurs dans les analyses multicritères : étude de cas : traitement des résidus d'incinération

**Autor:** Bögli, G.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235461>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 20.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Propagation des erreurs dans les analyses multicritères

## Etude de cas: traitement des résidus d'incinération

Les analyses multicritères font partie des méthodes d'aide à la décision. Depuis une dizaine d'années, elles sont très utilisées, notamment dans la gestion du territoire et de l'environnement. L'Office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage (OFEFP) a dirigé un groupe de travail pour évaluer les différentes techniques de traitement des cendres d'incinération des ordures ménagères. Avec l'appui scientifique de l'Institut de génie de l'environnement (IGE) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), le groupe de travail a recouru aux analyses multicritères. Le travail de diplôme étudie la qualité des données récoltées par le groupe de travail et analyse l'influence de cette qualité sur le processus décisionnel.

*Multikriterien-Analysen gehören zu den Hilfsmethoden der Entscheidungsfindung. Seit ungefähr zehn Jahren werden sie ausgiebig angewendet, vor allem in der Landesplanung und im Umweltschutz. Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft hat eine Arbeitsgruppe eingesetzt, um die verschiedenen Verarbeitungstechniken der aus dem Verbrennen des Haushaltabfalls entstandenen Asche abzuschätzen. Mit der wissenschaftlichen Unterstützung des Instituts für Umwelttechnik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (ETHL) hat sich die Arbeitsgruppe der Multikriterien-Analysen bedient. Die Diplomarbeit untersucht die Qualität der von der Arbeitsgruppe gesammelten Daten und deren Einfluss auf den Entscheidungsprozess.*

Le analisi a criteri plurimi sono parte integrante dei metodi decisionali. Da circa un decennio sono infatti utilizzate nella gestione del territorio e dell'ambiente. L'Ufficio fed. dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP) ha allestito un gruppo di lavoro che deve valutare le varie tecniche di trattamento delle ceneri prodotte dall'incenerimento dei rifiuti domestici. Con la consulenza scientifica dell'Istituto del genio dell'ambiente (IGE) del Politecnico federale di Losanna (SPFL), il gruppo di lavoro ha effettuato delle analisi a criteri plurimi. Questo lavoro di diploma valuta la qualità dei dati raccolti dal gruppo di lavoro e analizza l'influsso di questa qualità sul processo decisionale.

G. Bögli

### Contexte

En Suisse, l'incinération représente le principal moyen d'élimination des déchets. Les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM) fonctionnent selon la technologie des fours à grilles. Cela produit entre autres des résidus tels que les cendres volantes et des résidus sur les filtres d'épuration des fumées qui doivent être traités. En effet, ils contiennent des

métaux lourds (Hg, Pb, Zn, etc.) ainsi que des substances solubles (chlorures, sulfates, etc.).

Actuellement, la plupart des UIOM envoient ces résidus dans les mines des sels en Allemagne. C'est une solution qui paraît économique et écologique, cependant elle est contraire à la volonté d'élimination des déchets en Suisse. L'OFEFP a réuni les principaux acteurs (exploitants des UIOM, représentants de la Confédération et des cantons, ...) concernés par ce problème et a constitué un groupe de travail chargé d'inventorier les différents

procédés de traitement. La démarche du groupe de travail a nécessité l'apport des analyses multicritères. Le choix s'est porté sur la méthode ELECTRE III qui classe les divers procédés selon un sens de préférence.

### Electre III

Le groupe de travail a identifié 23 procédés de traitement répartis dans 4 catégories:

- stockage des résidus dans des mines de sel
- stabilisation au ciment
- lavage acide
- procédé thermique par vitrification.

Les procédés de traitement sont évalués selon 12 critères prenant en compte les aspects écologiques, technologiques, politiques et économiques. La figure 1 représente la structuration des 4 critères écologiques définie par le groupe de travail.

Chaque acteur définit la pondération des critères ainsi que des seuils d'indifférence et de préférence. Sur le critère des coûts par exemple, un seuil d'indifférence de 50 francs par tonne de résidus implique que 2 procédés dont la différence des coûts est inférieure à ce seuil ne peuvent être départagés. Par contre, un seuil de préférence de 100 fr. indique la valeur minimale à partir de laquelle on peut préférer un procédé plutôt qu'un autre. Les seuils introduisent la notion de logique floue.

Après avoir récolté toutes ces données auprès d'un acteur, on les introduit dans les algorithmes de la méthode ELECTRE III [1] qui génèrent un graphe de surclassement où les procédés sont classés du meilleur au moins bon.

Le groupe de travail a ensuite comparé les classements obtenus par chaque acteur pour établir des recommandations [2] sur le choix de la technologie.

### Qualité des données

La structuration des critères (fig. 1) est un point important dans les analyses multicritères. Les critères sont évalués grâce aux données récoltées auprès des fabricants des procédés de traitement. Grâce à une

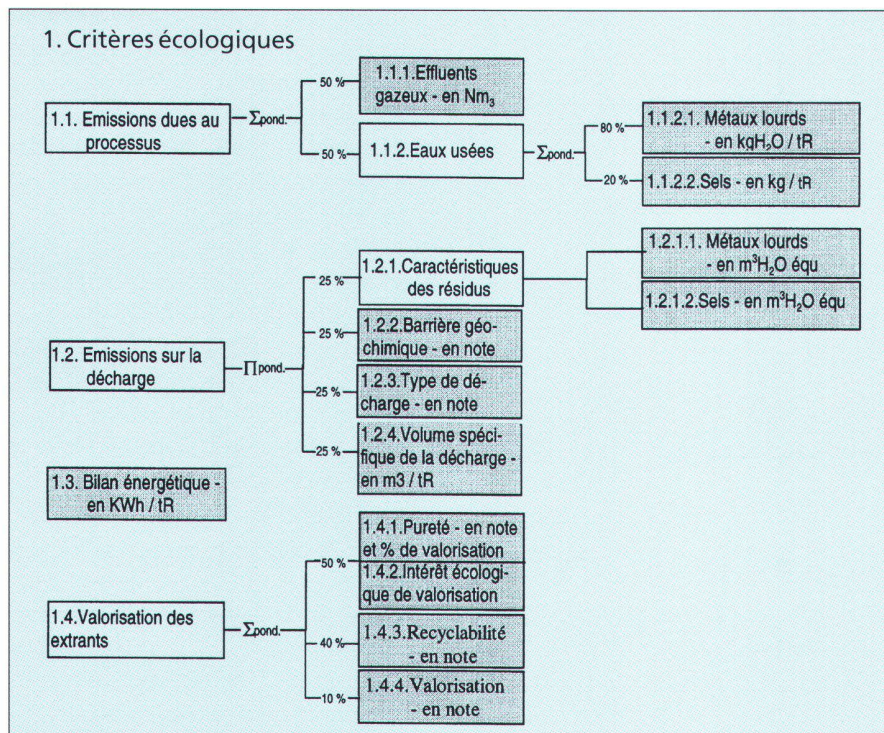


Fig. 1: Structuration des critères écologiques: les critères écologiques sont décomposés en sous-critères et forment une arborescence. L'agrégation de ces critères s'effectue par des sommes pondérées ( $\Sigma$  pond.) ou des produits pondérés ( $\Pi$  pond.).

étude de la qualité des données (précision et fiabilité), on possède des indications sur les erreurs contenues dans les données. Ces erreurs se propagent sur les évaluations des critères et par la suite sur les résultats de la méthode ELECTRE III.

**Méthode de propagation des erreurs**

La complexité du modèle de traitement des données nécessite l'utilisation de trois méthodes de propagation des erreurs:

- propagation des variances
- simulation Monte Carlo
- analyse de sensibilité

La propagation des variances, appelée également propagation des erreurs moyennes, est utilisée pour propager les erreurs sur les données cardinales représentées par des variables continues (p. ex., les besoins énergétiques, les coûts, ...). La simulation Monte Carlo est employée pour la propagation des erreurs sur les données ordinales qui sont composées de classes et de notes. Ce sont des variables discrètes. La figure 2 donne un exemple

de classification et de notation adoptée par le groupe de travail.

La simulation Monte Carlo permet de simuler plusieurs calculs de l'évaluation des critères en prenant en compte des valeurs différentes pour les données. C'est une méthode souple puisqu'elle peut travailler avec des variables discrètes. Ce n'est pas le cas de la propagation des variances qui a besoin d'un modèle fonctionnel bien défini mathématiquement, et notamment de fonctions continues. Quant à l'analyse de sensibilité, elle intervient lors de l'étude de l'influence des erreurs sur le graphe de surclassement.

**Résultats**

Pour des raisons de confidentialité des données, le détail des résultats n'apparaît pas dans cet article.

On peut cependant tirer la conclusion suivante: l'application de la propagation des erreurs ne permet pas de mettre en doute les résultats obtenus par le groupe de travail.

Evaluation verbale basée sur deux éléments: morphologie et capacité tampon du résidu lui-même.

Dans ce sous-critère, on ne tient pas compte de ce qui est recyclé.

Ce sous-critère fera appel à une échelle prenant en compte les deux aspects de morphologie (verre, cendres) et de capacité tampon. Les évaluations se feront verbalement sur le modèle d'une expertise en fonction des informations à disposition.

Echelle d'évaluation décroissante de 0 à 1 (la plus petite valeur est la meilleure):

• Verre	0.1
• Haute capacité d'adsorption	0.1
• «Non-verre» très bonne capacité tampon	0.1
bonne capacité tampon	0.3
capacité tampon moyenne	0.6
faible capacité tampon	0.8
aucune capacité tampon	1.0

Evaluations pour plusieurs types de résidus (X et Y) calculées selon la formule suivante:

$$\text{Evaluation} = \frac{\text{quantité\_de\_X} \cdot \text{note\_de\_X} + \text{quantité\_de\_Y} \cdot \text{note\_de\_Y}}{\text{quantité\_de\_X} + \text{quantité\_de\_Y}}$$

Fig. 2: Exemple de classification: le sous-critère 1.2.2 (barrière géochimique) est évalué en fonction de la capacité tampon des déchets produits par le procédé de traitement et mis en décharge.

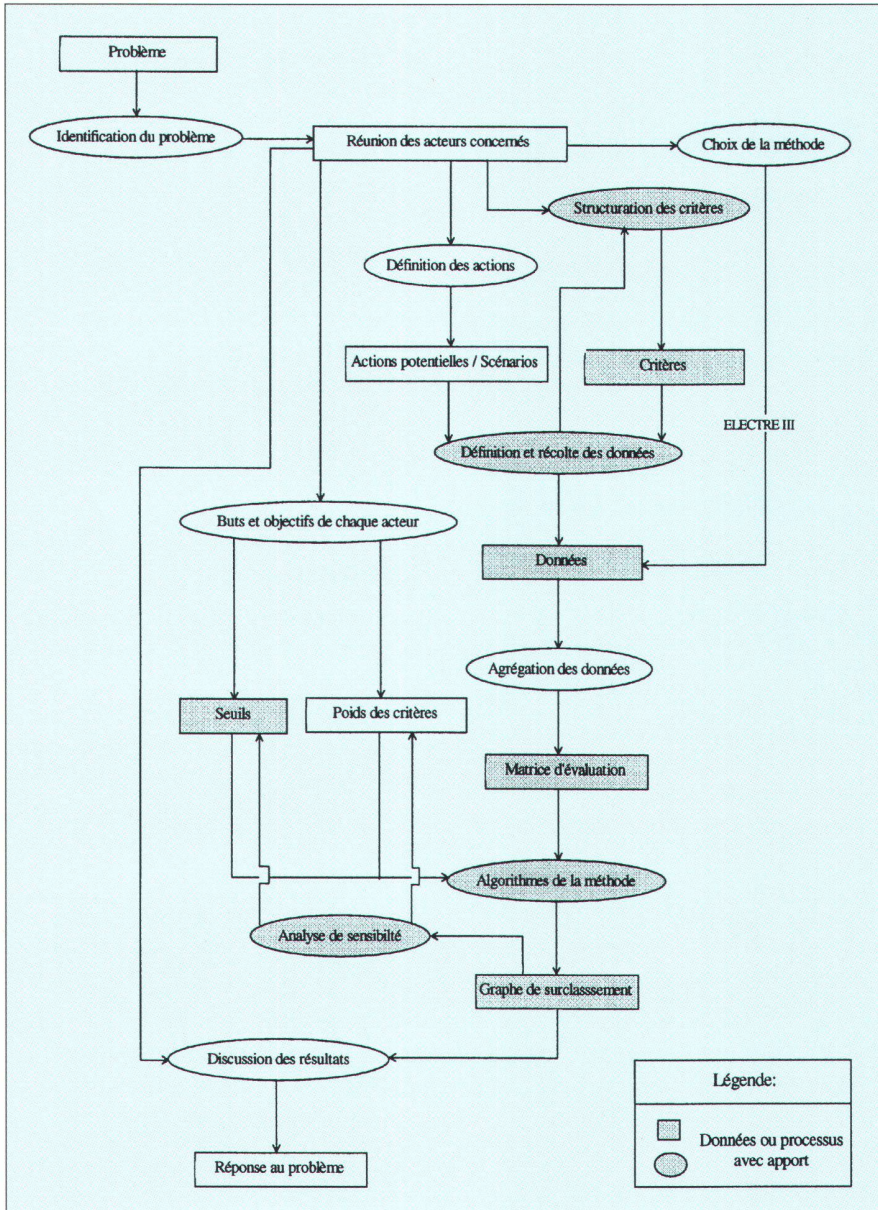


Fig. 3: Schéma de fonctionnement de l'analyse multicritères.

En effet, le classement des procédés de traitement dépend essentiellement du:

- choix des seuils d'indifférence et de préférence
- choix de la pondération des critères.

Ces deux paramètres forment l'ossature du graphe de surclassement. La prise en compte de la qualité des données modifie certes le classement des procédés, mais pas au point de remettre en cause les recommandations du groupe de travail à l'OFEFP. Pour cette étude de cas, on s'aperçoit de la robustesse de la méthode ELECTRE III quant à la qualité des données.

### Perspectives et conclusion

L'intérêt de l'utilisation de la propagation des erreurs dans les analyses multicritères ne réside pas dans les résultats, mais dans la démarche qu'elle implique. La figure 3 indique quelles étapes de la méthode bénéficient d'un apport. Les perspectives sont les suivantes:

1. Lorsque la structuration des critères est définie (fig. 1), une *préanalyse* de la qualité des données permet de fixer les exigences relatives à la collecte des données et à la définition plus détaillées des critères.

2. Lors de l'évaluation d'un procédé de traitement, on ne possède pas une seule valeur par critère, mais une plage de valeurs probables; les évaluations deviennent des variables à partir desquelles on définit une notion de *qualité des évaluations*.

3. Le *choix des seuils* de préférence et d'indifférence est délicat pour les acteurs. De manière générale, elle résulte d'une démarche «volontariste». La prise en compte de la qualité des données met en relation le seuil d'indifférence avec l'erreur moyenne et le seuil de préférence avec l'erreur limite. Le choix des seuils peut donc s'appuyer sur les résultats de la propagation des erreurs.

La propagation des erreurs offre des outils complémentaires à l'application de la méthode ELECTRE III. Elle apporte une information primordiale qui manquait jusqu'à présent, c'est-à-dire l'influence de la qualité des données dans la prise de décision.

Les méthodes d'analyses multicritères sont de plus en plus utilisées dans les processus décisionnels. Actuellement, on ne veut pas seulement pouvoir prendre une décision, mais on veut également gérer les risques liés à une prise de décision. Ce travail va dans ce sens en tenant compte de la qualité des données.

#### Bibliographie:

- [1] L. Y. Maystre, J. Pictet, J. Simos: Méthode multicritères ELECTRE, description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale (1994), presses polytechniques et universitaires romandes.
- [2] Groupe de travail «Résidus de l'incinération»: Rapport final à l'attention de l'OFEFP (1997).

#### Références du travail:

Propagation des erreurs dans les analyses multicritères, Problématique du traitement des résidus des cendres d'incinération, Travail de diplôme 1998 (Grégoire Bögli), EPFL, DGR.

Grégoire Bögli  
rue Achille Merquin 26  
CH-2900 Porrentruy JU