

Module CBA-DE

Frédéric Grelot ¹

¹IRSTEA, UMR G-eau, Montpellier, France

Résumé. Description du module CBA-DE, qui permet de réaliser, au moins partiellement, l'analyse des incertitudes et l'analyse de sensibilité d'une ACB-DE.

Mots clés. analyse coût-bénéfice, inondation, modélisation, analyse d'incertitude, analyse de sensibilité

1 Introduction

L'objectif de cette note est de présenter le module CBA-DE, d'en expliciter les hypothèses ainsi que le fonctionnement.

À partir des éléments donnés d'une ACB-DE ayant été réalisé préalablement, nommée ACB-DE nominale dans la suite, le module CBA-DE permet de:

- réaliser une vérification de certains des calculs de l'ACB-DE nominale;
- réaliser une analyse d'incertitude partielle de cette ACB-DE nominale;
- réaliser une analyse de sensibilité partielle de cette ACB-DE nominale.

Les calculs qu'il est possible de réaliser dans le module ne couvrent pas tous les calculs qui ont normalement été nécessaires à la réalisation de l'ACB-DE nominale. Notamment, il n'est pas possible de reproduire les simulations hydrauliques, les opérations d'affectation des paramètres d'intensité de l'aléa aux enjeux. De fait, le module CBA-DE ne comprend pas une représentation spatialisée des enjeux.

Le modèle proposé a pour variable d'intérêt la VAN d'un projet de gestion contre les inondations.

Correspondence to: F. Grelot
(frederic.grelot@irstea.fr)

2 Modèle

2.1 Présentation générale

Ce modèle est décrit par l'équation suivante:

$$VAN = \sum_{j \in J} B_j^{act} - \sum_{i \in I} C_i^{act}$$

avec:

- $B_j^{act} = \sum_{t \in [0 \dots H]} \frac{B_{j,t}}{\prod_{u \in [0 \dots t]} (1+r_u)}$
- $C_i^{act} = \sum_{t \in [0 \dots H]} \frac{C_{i,t}}{\prod_{u \in [0 \dots t]} (1+r_u)}$
- $B_{j,t}$ le bénéfice attendu l'année t pour l'enjeu de type j
- $C_{i,t}$ le coût attendu l'année t pour le poste i
- r_u le taux d'actualisation à l'horizon temporel u
- J l'ensemble des types d'enjeu
- I l'ensemble des postes de coûts
- H l'horizon temporel

2.2 Bénéfices

Pour tous les types d'enjeu, les bénéfices sont constants dans le temps. Ils sont pris égaux aux dommages évités moyens annualisés (DEMA).

Le calcul des DEMA fait intervenir les scénarios d'inondation pris en compte dans le modèle. Le calcul des DEMA est approximé par celui de l'aire de la des dommages évités, courbe affine par morceau reliant les points estimés des dommages évités pour les scénarios caractérisés par leur fréquence d'occurrence (prise comme étant l'inverse de la période de retour).

$$DEMA = \sum_{s \in S} p_s i_s h_s$$

avec:

- p_s le poids donné à l'événement d'inondation s . Ce poids est calculé à partir des périodes de retour des scénarios d'inondation.
- i_s l'impact de l'événement s , qui peut être positif comme négatif.
- h_s l'efficacité hydraulique du projet.
- S l'ensemble des scénarios d'inondation considérés.

Remarque Si les DEMA sont négatifs pour un type d'enjeu particulier, l'impact du projet ne sera pas un bénéfice mais un coût pour le projet. Cet abus de classification n'a aucun impact sur le calcul de la VAN mais peut en avoir sur le calcul du ratio de Kicks-Haldor parfois utilisé dans la littérature.

2.3 Poids des événements

En supposant que les événements sont rangés dans l'ordre croissant des périodes de retour, qu'ils sont au nombre de $N \geq 2$, les poids p_s sont donnés par les formules suivantes:

- $p_1 = \frac{f_1 - f_2}{2}$
- $p_i = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2}$ pour $1 < i < N$
- $p_N = \frac{f_{N-1} - f_N}{2}$

avec:

- $f_i = \frac{1}{T_i}$ fréquence de dépassement de l'événement de période de retour T_i

2.4 Efficacité hydraulique

Le paramètre h_s est un avatar de modélisation permettant de tenir compte de l'incertitude pressentie sur l'efficacité hydraulique du projet pour un scénario d'inondation donnée. Lorsque $h_s = 1$ l'efficacité hydraulique est supposée être exactement celle donnée par le modèle hydraulique ayant été utilisé pour la réalisation de l'ACB nominale.

2.5 Incertitudes

Les paramètres du modèle dont les incertitudes sont prises en compte sont les suivants:

- coûts liés à la mise en place du projet
- période de retour, pour chaque scénario d'inondation
- efficacité hydraulique du projet, pour chaque scénario d'inondation

- modélisation des dommages, pour chaque type d'enjeu

Ces incertitudes sont modélisées selon une loi de distribution uniforme entre une borne min et une borne max pour chacun des paramètres. Les incertitudes sont réputées indépendantes entre les paramètres.

3 Entrées - sorties

3.1 Entrées

Les données d'entrée d'un cas d'étude sont stockées dans 4 fichiers, qui sont toujours nommés comme suit:

- `calendar.csv`
- `cost.csv`
- `flood.csv`
- `impact.csv`

Ces 4 fichiers sont à ranger dans un dossier dans `/data`. Pour le propos de cette note nous considérons que les fichiers d'entrée sont rangés dans le dossier `/data/CasEtude`

3.1.1 Calendrier de réalisation

Le calendrier de réalisation est décrit dans le fichier `calendar.csv`. Ce fichier est organisé sous la forme d'un tableau dont:

- La 1^{ère} ligne donne les intitulés des colonnes.
- La 1^{ère} colonne, intitulée `year` donne les différentes années considérées (par défaut tous les entiers entre 0 et 50).
- Les colonnes suivantes donnent le taux de prise en compte des postes des flux financiers.
- Une de ces colonnes doit s'appeler `benefit` et donne le taux de prise en compte des bénéfices à chaque année. Les valeurs attendues sont 0 tant qu'aucun projet n'est réalisé, a minima en année 0 ; 1 lorsque l'ensemble des projets sont réalisés ; des valeurs entre 0 et 1 pendant la réalisation des projets (0 étant une valeur admissible).
- Les autres colonnes, dont les intitulés varient d'un cas d'étude à un autre, donnent les coûts considérés sur le cas d'étude. Ces intitulés doivent correspondre exactement avec ceux du fichier `cost.csv`. Pour un coût d'investissement, les valeurs attendues sont entre 0 et 1, avec une somme égale à 1, permettant de répartir les coûts donnés dans `cost.csv` en fonction du calendrier de réalisation. Pour un coût de maintenance, les valeurs attendues sont également entre 0 et 1 : 0 lorsqu'aucune maintenance n'est encore prévue, 1 lorsque la maintenance attendue est complète, une valeur intermédiaire en cas de maintenance partielle.

3.1.2 Coûts du projet

les coûts du projet sont décrits dans le fichier `cost.csv`. Ce fichier est organisé sous la forme d'un tableau dont:

- La 1^{ère} ligne donne les intitulés des colonnes.
- La 1^{ère} colonne, intitulée `cost`, donne les différents postes de considérés sur le cas d'étude. Ces intitulés doivent correspondre exactement avec ceux du fichier `calendar.csv`.
- La colonne intitulée `nominal` donne les valeurs nominales de chacun des coûts considérés.
- La colonne intitulée `min` donne la borne min à considérer lors des tirages aléatoires.
- La colonne intitulée `max` donne la borne max à considérer lors des tirages aléatoires.
- La colonne intitulée `type` donne le type de variation à prendre en compte pour les bornes, soit absolues (*absolute*), soit relatives à la valeur de la colonne `nominal` (*relative*).

3.1.3 Scénarios d'inondation

Les scénarios d'inondation sont décrits dans le fichier `flood.csv`. Ce fichier est organisé sous la forme d'un tableau dont:

- La 1^{ère} ligne donne les intitulés des colonnes.
- La 1^{ère} colonne, intitulée `flood`, donne les intitulés des scénarios d'inondation considérés sur le cas d'étude. Ces intitulés doivent correspondre exactement avec ceux du fichier `impact.csv`.
- La colonne intitulée `period.nominal` donne les valeurs nominales des périodes de retour de chacun des scénarios d'inondation.
- La colonne intitulée `period.min` donne la borne min à considérer pour les périodes de retour lors des tirages aléatoires.
- La colonne intitulée `period.max` donne la borne max à considérer pour les périodes de retour lors des tirages aléatoires.
- La colonne intitulée `period.type` donne le type de variation à prendre en compte pour les bornes des périodes de retour, soit absolues (*absolute*), soit relatives à la valeur de la colonne `nominal` (*relative*).
- La colonne intitulée `hydraulic.nominal` donne les valeurs nominales des facteurs d'ajustement hydraulique de chacun des scénarios d'inondation.

- La colonne intitulée `period.min` donne la borne min à considérer pour les facteurs d'ajustement hydraulique lors des tirages aléatoires.
- La colonne intitulée `period.max` donne la borne max à considérer pour les facteurs d'ajustement hydraulique lors des tirages aléatoires.
- La colonne intitulée `period.type` donne le type de variation à prendre en compte pour les bornes des facteurs d'ajustement hydraulique, soit absolues (*absolute*), soit relatives à la valeur de la colonne `nominal` (*relative*).

3.1.4 Impacts du projet

Les impacts du projet sont décrits dans le fichier `impact.csv`. Ce fichier est organisé sous la forme d'un tableau dont:

- La 1^{ère} ligne donne les intitulés des colonnes.
- La 1^{ère} colonne, intitulée `stake`, donne les intitulés des d'enjeux considérés sur le cas d'étude.
- Les colonnes suivantes, dont les intitulés doivent correspondre exactement avec la colonne `flood` du fichier `flood.csv`, donnent les valeurs nominales des impacts attendus au sens des dommages évités. Les valeurs positives correspondent donc à des dommages effectivement évités, les valeurs négatives à des surdommages.
- La colonne intitulée `min` donne la borne min à considérer pour les dommages évités lors des tirages aléatoires.
- La colonne intitulée `max` donne la borne max à considérer pour les dommages évités lors des tirages aléatoires.
- La colonne intitulée `type`, donne le type de variation à prendre en compte pour les bornes des périodes de retour, soit absolues (*absolute*), soit relatives à la valeur de la colonne `nominal` (*relative*).

Remarque Pour un type d'enjeu donné, c'est-à-dire pour une ligne donnée, les bornes `min` et `max` utilisées dans ce fichier sont valables pour toutes les valeurs nominales. C'est pourquoi il est nécessaire de laisser le type à *relative* dans ce fichier.

3.2 Sorties

Les fichiers de sortie sont rangés dans un dossier dans `output/`. Ce dossier a le même nom de que le dossier utilisé pour les entrées (`output/CasEtude/` dans notre exemple).

3.2.1 Information sur la modélisation

information.log. Fichier texte rappelant le nom du cas d'étude, le nombre de tirages, la valeur nominale de la VAN, la valeur correspondante pour les bénéfices.

Uncertainty.csv. pour chacun des tirages, valeurs des paramètres tirés, valeur des bénéfices calculés, valeur de la VAN. La première ligne correspond à la valeur nominale.

Sobol.csv. Valeur des indices de Sobol et quelques unes de leur caractéristiques.

3.2.2 Tableaux L^AT_EX

Selon les options choisies, les 4 fichiers d'entrée nécessaires sont transformés en tableau compatible avec L^AT_EX nommés:

- `calendar.tex`
- `cost.tex`
- `flood.tex`
- `impact.tex`

3.2.3 Graphiques au format pdf

Les fichiers suivants sont générés :

plot_hist.pdf. Histogramme des valeurs de la VAN, avec positionnement de la valeur nominale, coloration en rouge des valeurs négatives et indication de la proportion des valeurs négatives.

plot_sobol.pdf. Représentation graphique des indices de Sobol des différents paramètres d'incertitude

plot_exploration1D.pdf. Pour chacun des paramètres les plus influents, graphique représentant la proportion de VAN négatives en fonctions des valeurs du paramètre.

plot_exploration2D.pdf. Pour chaque couple des paramètres les plus influents, graphique représentant la proportion de VAN négatives en fonctions des valeurs des paramètres.

plot_exploration2Dbis.pdf. Autre représentation du précédent.

4 Conclusion

Références

Aerts, J. C. and Botzen, W. W.: Climate change impacts on pricing long-term flood insurance: A comprehensive study for the Netherlands, *Global Environmental Change*, 21, 1045–1060, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2011.04.005, 2011.

Al-Futaisi, A. and Stedinger, J. R.: Hydrologic and Economic Uncertainties and Flood-Risk Project Design, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125, 314–324, 1999.

Apel, H., Thieken, A. H., Merz, B., and Blöschl, G.: Flood risk assessment and associated uncertainty, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 295–308, nHESS 1561-8633, 2004.

Apel, H., Thieken, A. H., Merz, B., and Blöschl, G.: A Probabilistic Modelling System for Assessing Flood Risks, *Natural Hazards*, 38, 79–100, 2006.

Arnell, N. W.: Average annual damage by flood frequency zone, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 112, 104–113, 1986.

Arnell, N. W.: Expected Annual Damages and Uncertainties in Flood Frequency Estimation, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115, 94–107, 1989.

Arrow, K. J. and Lind, R. C.: Uncertainty and the evaluations of public investment decisions, *The American Economic Review*, 60, 364–378, 1970.

Beard, L. R.: Discussion of “Expected Annual Damages and Uncertainties in Flood Frequency Estimation”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 116, 847–950, 1990.

Beard, L. R.: Estimating flood frequency and average annual damage, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123, 84–97, 1997.

Beard, L. R.: Discussion of “Expected Probability and Annual Damage Estimators”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 124, 365–366, 1998.

Davis, S. A., Johnson, N. B., Hansen, W. J., Warren, J., Reynolds, F. R. J., Foley, C. O., and Fulton, R. L.: National economic development. Procedures manual. Urban Flood Damage, IWR Report 88-R-2, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, Virginia, USA, 1988.

De Blois, C. J. and Wind, H. G.: Assessment of flood damages and benefits of remedial actions: "What are the weak links?"; with application to the Loire, *Physics and Chemistry of The Earth*, 20, 491–495, 1995.

de Moel, H., Bouwer, L. M., and Aerts, J. C. J. H.: Uncertainty and sensitivity of flood risk calculations for a dike ring in the south of the Netherlands, *Science of The Total Environment*, 473–474, 224–234, doi:10.1016/j.scitotenv.2013.12.015, 2014.

Erdlenbruch, K., Germano, V., Gilbert, E., Grelot, F., and Lescouliers, C.: Mise au point d'une méthode d'évaluation économique du coût des inondations. Application à la basse vallée de l'Orb, Document de restitution, Conseil Général de l'Hérault - Pôle Environnement, Eau, Cadre de Vie et Aménagement Rural, 2006.

Erdlenbruch, K., Gilbert, E., Grelot, F., and Lescouliers, C.: Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre des inondations. Application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l'Orb, *Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires*, 53, 3–20, 2008.

Gaume, E., Hubert, G., and Torterotot, J. P.: La prise en compte des incertitudes dans l'estimation du coût des dommages dus aux inondations, *La Houille Blanche*, 3-4, 76–82, doi:10.1051/lhb/2000032, 2000.

Goldman, D.: Estimating expected annual damage for levee retrofits, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123, 89–94, 1997.

Grelot, F., Bailly, J.-S., Blanc, C., Erdlenbruch, K., Mériaux, P., Saint-Geours, N., and Tourment, R.: Sensibilité d'une analyse coût-bénéfice. Enseignements pour l'évaluation des projets d'atténuation des inondations, *Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires*, pp. 95–108, 2008.

Hall, J. W., Sayers, P. B., and Dawson, R. J.: National-scale Assessment of Current and Future Flood Risk in England and Wales,

- Natural Hazards, 36, 147–164, doi:10.1007/s11069-004-4546-7, 2005.
- Hicks, M. J. and Burton, M. L.: Expected Flood Damages to Transportation Infrastructures as a Proportion of Total Event Costs: A Methodological Exploration, Tech. Rep. TRP 00-04, Marshall University, 1 John Marshall Drive, Huntington, WV 25755, USA, 2003.
- James, L. D. and Hall, B.: Risk information for floodplain management, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 112, 485–499, 1986.
- Kunreuther, H.: Disaster Insurance: A Tool for Hazard Mitigation, *Journal of Risk and Insurance*, 41, 287–303, 1974.
- Lave, L. B., Resendiz-Carillo, D., and McMichael, F. C.: Setting goals for high-hazard dams: Are dams too safe?, *Water Resources Research*, 26, 1383–1391, 1990.
- Loáiciga, H. A.: Flood Damages in Changing Flood Plains, *Journal of the American Water Resources Association*, 37, 467–478, 2001.
- Merz, B. and Thielen, A. H.: Flood risk curves and uncertainty bounds, *Natural Hazards*, 51, 437–458, doi:10.1007/s11069-009-9452-6, 2009.
- Ouellette, P., Leblanc, D., El-Jabi, N., and Rousselle, J.: Cost-benefit analysis of flood-plain zoning, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114, 326–334, 1988.
- Saint-Geours, N., Grelot, F., Bailly, J.-S., and Laverne, C.: Ranking sources of uncertainty in flood damage modelling: a case study on the cost-benefit analysis of a flood mitigation project in the Orb Delta, France, *Journal of Flood Risk Management*, [Early view], DOI:10.1111/jfr3.12068, doi:10.1111/jfr3.12068, 2013.
- Sassi, M.: Régionalisation d'un modèle d'équilibre général calculable pour l'étude des dommages du risque naturel d'inondation sur le développement économique local : une application à la région PACA, Thèse de doctorat, spécialité sciences Économiques, Université Paul Cézanne (Aix-Marseille), 2010.
- Shabman, L. and Stephenson, K.: Searching for the Correct Benefit-Estimates: Empirical Evidence for an Alternative Perspective, *Land Economics*, 72, 433–449, 1996.
- Stedinger, J. R.: Expected Probability and Annual Damage Estimators, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123, 125–135, 1997.
- Torterotot, J. P.: Le coût des dommages dus aux inondations : Estimation et analyse des incertitudes, Thèse de doctorat, spécialité sciences et techniques de l'environnement, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 2 volumes. 284 pages + Annexes. Soutenue le 6 octobre 2003, directeur de thèse Pierre-Alain Roche., 1993.
- USACE: AGDAM, Agricultural Flood Damage Analysis – User's Manual (Provisionnal), Computer Program Documentation CPD-48, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, CA, 1985.
- van Dantzig, D.: Economic decision problems for flood prevention, *Econometrica*, 24, 276–287, 1956.
- Wurbs, R. A.: Optimal sizing of flood damage reduction measures based on economic efficiency, *Water Resources Development*, 12, 5–16, 1996.
- Wurbs, R. A., Toneatti, S., and Sherwin, J.: Modelling Uncertainty in Flood Studies, *International Journal of Water Resources Development*, 17, 353–363, 2001.
- Yazdi, J., Salehi Neyshabouri, S. A. A. S., Niksokhan, M., Sheshangosht, S., and Elmi, M.: Optimal prioritisation of watershed management measures for flood risk mitigation on a watershed scale, *Journal of Flood Risk Management*, pp. n/a–n/a, doi:10.1111/jfr3.12016, 2013.