

**Efficienc e économique et financement des  
Solutions Fondées sur la Nature :  
Le cas du bassin versant de la Brague**

*Nabila ARFAOUI Amandine GNONLONFIN, Guillaume PITON,  
Ali DOUAI*

**n° 2020-03**

# Efficiencia económica y financiación de Soluciones Fundadas en la Naturaleza: El caso del cuenca de la Brague

Nabila Arfaoui<sup>a</sup>, Amandine Gnonlonfin<sup>b</sup>, Guillaume Piton<sup>c</sup>, Ali Douai<sup>b</sup>.

a: University Catholic of Lyon, ESDES-10 place des Archives, 69002 Lyon, France,

b: Université Côte d'Azur, IMREDD- 61-63 Avenue Simone Veil, 06200 Nice, France

c: Univ. Grenoble Alpes, INRAE, ETNA, 38000, Grenoble, France

## Resumen:

Este artículo evalúa la eficiencia económica de las estrategias de prevención del riesgo de inundación con el fin de aclarar la decisión de financiación de los actores públicos. Desde esta perspectiva, proponemos un doble Análisis de Costes y Beneficios (ACB) en el contexto particular de la ley GEMAPI (Gestión de los Medios Acuáticos y Protección contra las Inundaciones) y de las estrategias llamadas "SFN" (Soluciones Fundadas en la Naturaleza). El ACB top-down satisface la visión de los actores nacionales y supra regionales durante que el ACB bottom-up responde a las preocupaciones de los actores locales al evaluar la aceptabilidad social de las estrategias estudiadas.

**Palabras clave:** Riesgo de inundaciones, Soluciones Fundadas en la Naturaleza, Análisis de Coste-Beneficio, Enfoque Top-down, Enfoque Bottom-up

Códigos JEL: Q51, Q55, H71

## Introducción

En el sur de Francia el cambio climático se traduce por un aumento de la intensidad y de la frecuencia de episodios de lluvias llamadas "mediterráneas" provocando grandes consecuencias tal como en el Var en 2010 y 2011. En el departamento de Alpes Marítimos el episodio de octubre 2015 por ejemplo causó el desbordamiento de varios ríos costeros trayendo daños estimados a 500-600 millones de euros y más de 20 muertos (Prefectura de Alpes-Marítimos, 2016). Las grandes inundaciones de noviembre 2019 en la región han de nuevo mostrado la vulnerabilidad de estos territorios a las inundaciones. Desde entonces, las llamadas a una gestión del riesgo de inundaciones más adaptada a los territorios se multiplican, esto en contextos institucionales y socio-económicos inciertos.

Los gestores de las obras de protección contra las grandes inundaciones están en plena reorganización desde la ley GEMAPI de 2014. Esta ley impone a estas entidades « gemapienas » de gestionar los cursos de agua tomando en cuenta a la vez la restauración ambiental (GEMA) y la reducción del riesgo de inundación (PI). En este contexto, las Soluciones Fundadas en la Naturaleza (SFN) son de más en más envisagées. Ellas son definidas como « acciones inspiradas de la naturaleza ; [...] utilizando las funcionalidades y la complejidad de los procesos naturales, tales como su capacidad a almacenar el carbono y a regular el agua [...] para tratar de manera duradera un conjunto de desafíos ambientales, sociales y económicos » (Nesshöver et al., 2017, p. 1217). Ellas se quieren una alternativa a las medidas de ingeniería civil para la resiliencia (Eggermont et al., 2015) y son actualmente promovidas por la Comisión Europea (CE) en su agenda política y su programa de investigación e innovación Horizonte 2020<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Le projet NAIAD "NAture Insurance value: Assessment and Demonstration" s'inscrit dans ce contexte.

L'intérêt récent de la littérature académique (Albert et al., 2019) n'a pas suffi à lever tous les verrous liés à la généralisation de la mise en œuvre des SFN. Leur implémentation est entravée par les difficultés d'évaluation de leur valeur économique (Kabisch et al., 2015), dans un contexte où les pouvoirs publics demandent une évaluation de l'efficacité économique des mesures de prévention du risque (Mechler, 2016). En outre, cette difficulté d'évaluation entrave le financement de ces solutions dans une conjoncture de contraintes budgétaires sévères (Kabisch et al., 2015); conduisant ainsi à un double frein à l'adoption des SFN. L'efficacité économique est généralement évaluée à travers l'ACB qui, en France, est utilisée de manière systématique pour tout projet dont les montants d'investissement dépassent 2 millions d'euros (CGDD, 2018). Les ACB réalisées dans ce contexte peuvent être qualifiées de "top-down" car elles reposent sur le transfert de valeurs de dommages évités de stratégies prédéfinies par les décideurs publics.

L'application de ce type d'ACB aux SFN pose question. En effet, contrairement aux solutions de génie civil, les SFN offrent d'autres bénéfices sociétaux et environnementaux (Eggermont et al., 2015 ; Cohen-Shacham et al., 2016), en plus de la réduction du risque. Ces "co-bénéfices" rassemblent des valeurs d'usage et de non-usage potentiellement importantes. Négliger ces derniers peuvent biaiser la prise de décision publique. Leur intégration peut être envisagée dans une ACB top-down via, par exemple, des méthodes de transfert de valeurs des co-bénéfices. Toutefois, une approche "bottom-up" (Carolus et al. 2018) - territorialisée et inclusive des parties prenantes- favorise l'acceptabilité sociale nécessaire à la mise en œuvre des SFN et à leur suivie dans le temps (Andersson et al., 2017).

Au lieu de penser leur opposition, l'objectif de cet article est de montrer, dans le contexte institutionnel français, la complémentarité entre les approches "top-down" et "bottom-up" dans la prise de décision de financement des aménagements de gestion de risque. En effet, les différentes conceptualisations valeur (Arias-Arévalo et al., 2018) influencent les préférences des parties prenantes (acteurs locaux, Etat, Agence de l'Eau (AE) et population) et leur décision de supporter une stratégie donnée. L'ACB "top down" rassemble les méthodes classiques de transfert de valeurs pour la réduction du risque et les co-bénéfices. Cette première approche permet d'une part d'éclairer la décision de l'Etat de financer les projets au titre du fond "Barnier". D'autre part, elle permet de conforter la position de l'Agence de l'Eau dont le financement est déterminé essentiellement par l'amélioration de la qualité des milieux et des fonctions écologiques. L'évaluation bottom-up" rassemble des méthodes participatives et la méthode d'évaluation contingente. Elle évalue la valeur économique totale des stratégies dans une perspective locale pour montrer leur acceptabilité sociale et les possibilités de financement de l'entité gemapienne.

Notre démarche se structure en quatre parties. Nous présentons d'abord les stratégies envisagées pour la protection de notre cas d'étude: la basse vallée de la Brague (Alpes Maritimes). Ensuite, nous explicitons les méthodologies d'estimation des bénéfices dans les deux approches de l'ACB. Par la suite, nous présentons les résultats et enfin nous discutons de la complémentarité des deux approches dans le processus de décision et de financement de ces stratégies

## 1. Les stratégies de prévention du risque d'inondations

Deux grandes catégories de stratégies sont envisagées pour réduire le risque d'inondations : celles faisant appel à des mesures à dominante génie civil sont dites "GC" tandis que celles reposant principalement sur des Solutions Fondées sur la Nature sont dites "SFN". Des stratégies GC et SFN d'ambition intermédiaire (notées "1") et forte (notées "2") ont été définies. Chaque stratégie est composée de plusieurs mesures (Tableau 1). Les stratégies GC visent principalement la réduction du risque à partir d'ouvrages de génie civil. Les stratégies SFN intègrent les objectifs de réduction du risque et d'amélioration de la qualité des milieux. Elles correspondent ainsi d'une part, à l'esprit des "espaces de bon fonctionnement" de la rivière défendu par l'AE-RMC (2016) et d'autre part, à la définition du concept de SFN (Eggermont et al., 2015). Afin de s'assurer de l'intérêt écologique des stratégies SFN proposées, une analyse de l'altération des 5

tronçons de rivière drainant la basse vallée de la Brague a été menée à l'aide de l'Index de Qualité Morphologique (MQI) de Rinaldi et al. (2013). Il a été confirmée que les MQI s'améliorent avec les stratégies SFN et se détériore avec les stratégies GC (Annexe 1).

**Tableau 1. Les stratégies et leurs coûts sur 50 ans (millions d'euros)**

Stratégies	Mesures	Coûts moyens (min ; max)
SFN1	<p><b>Mesures génie civil (ambition moyenne)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièges à flottants (140 m linéaire)</li> <li>- Reprise de ponts et accès (2880 m<sup>2</sup>)</li> </ul> <p><b>Mesures de restauration écologique (ambition moyenne)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Création de pistes d'accessibilité discontinues (12 km)</li> <li>- Restauration du lit moyen de la Brague (élargissements 15.5 ha)</li> <li>- Restauration de zones humides (10 ha)</li> <li>- Restauration de la ripisylve (13.2 ha)</li> </ul>	80 (59 ; 133) dont coût d'investissement: 76 (56; 128) et coût de maintenance: 4 (3 ; 5)
SFN2	<p><b>Mesures génie civil (niveau moyen)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièges à flottants (110 m linéaire)</li> <li>- Reprise de ponts, viaduc et déviation de route (18 700 m<sup>2</sup>)</li> </ul> <p><b>Mesures de restauration écologique (niveau fort)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Restauration du lit moyen de la Brague (élargissements: 15.8 ha)</li> <li>- Restauration de zones humides (12.7 ha)</li> <li>- Création de pistes d'accessibilité continues (11.3 km)</li> <li>- Restauration de la ripisylve (13.3 ha)</li> </ul>	123 (93 ; 211) dont coût d'investissement: 119 (90; 206) et coût de maintenance: 4 (3 ; 5)
GC1	<p><b>Mesures génie civil (niveau faible)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièges à flottants (140 m linéaire)</li> </ul> <p><b>Mesures de restauration écologique (niveau faible)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Création de pistes d'accessibilité discontinues (4.4 km)</li> </ul>	7,3 (5,3 ; 10,1) dont coût d'investissement: 3,6 (2,5; 5,4); coût de maintenance: 3,7 (2,8 ; 4,7) et coût environnemental: 0
GC2	<p><b>Mesures génie civil (niveau fort)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièges à flottants (140 m linéaire)</li> <li>- Grands barrages de rétention (Deux ouvrage de 30 m de haut et de capacité de rétention 880 000 m<sup>3</sup> sur la Brague et 560 000 m<sup>3</sup> sur la Valmasque)</li> <li>- Endiguements et recalibrage de la Brague (200 m linéaire)</li> </ul> <p><b>Mesures de restauration écologique (niveau faible)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Création de pistes d'accessibilité discontinues (4.4 km)</li> </ul>	171 (88 ; 270) dont coût d'investissement: 105 (63; 147); coût de maintenance: 66 (26 ; 123) et coût environnemental: 3 (1; 5)

Le Tableau 1 présente également les coûts de toutes les stratégies sur un cycle de vie de 50 ans. Les estimations des coûts sont faites à partir d'une revue de littérature et des enquêtes locales, et respectent les recommandations en la matière en France, y compris un taux d'actualisation de 2.5% (AERMC, 2011; CGDD, 2018). Ces coûts comprennent les coûts d'investissement, environnementaux et de maintenance (CGDD, 2018). Les coûts d'investissement incluent: (i) les coûts d'acquisition et d'indemnisation des terrains et résidences impactés - en procédure d'expropriation ou d'achat amiable - estimés à partir du prix du marché de l'immobilier (base de données PERVAL, 2018) et (ii) les coûts des études et des travaux. Les coûts environnementaux sont approximés avec la grille des ratios des coûts environnementaux (CGDD, 2018). Enfin, les coûts de maintenance englobent les estimations des coûts d'entretien et réparation. En raison des incertitudes dans les estimations des coûts, les coûts moyens sont encadrés par un minimum et un maximum.

## 2 Evaluation des bénéfices

### 2.1 Approche top-down

Les bénéfices de l'approche top-down regroupent : (i) les dommages évités permettant d'estimer le bénéfice lié à la réduction du risque et (ii) le transfert de valeur permettant d'estimer les bénéfices liés aux impacts positifs sur l'environnement.

L'estimation des dommages évités a suivi le protocole standard recommandé par l'Etat (CGDD, 2018) : (i) modélisation des niveaux d'inondation liés à des crues de plusieurs probabilités d'occurrence, dans l'état actuel et dans l'état aménagé ; (ii) évaluation des dommages aux bâtis par l'utilisation de courbes de dommages reliant, pour chaque enjeux, niveau d'inondation et dommages ; (iii) estimation des dommages moyens annuels évités par différence entre la moyenne des dommages dans l'état actuel et celle dans l'état aménagé. Plusieurs courbes de dommages fournis par le ministère et par la Caisse Central de Réassurance (CCR) ont été utilisées afin de fournir des estimations basses, moyennes et hautes (Gnonlonfin et al. 2019).

La méthode des transferts de bénéfices a été mise en œuvre pour estimer une valeur économique des co-bénéfices de restauration des milieux. Pour cela, une méta-régression de 49 études de restauration des écosystèmes de rivières, conduites de 1996 à 2018 en Europe, Asie de l'Est et Amérique, a été menée. L'analyse de 187 valeurs de Consentement A Payer (CAP) pour des mesures de restauration écologique a permis de dériver une fonction de transfert de valeur des stratégies SFN et de leur co-bénéfices basée sur : (i) les mesures mises en œuvre (gestion de la ripisylve, restauration du lit de la rivière, restauration du lit majeur, autre), (ii) les services écosystémiques rendus par les stratégies, (iii) un indicateur d'ambition du projet (normal ou forte), (Arfaoui & Gnonlonfin, 2020).

L'estimation de la valeur des co-bénéfices à l'échelle du bassin de la Brague, suit les préconisations de Brouwer et al. (2013). Le CAP par an et par ménage est estimé en considérant les mesures constituant les différentes stratégies<sup>2</sup>. Les variables méthodologiques et les co-bénéfices sont fixés à la valeur moyenne de la base de données et les bornes hautes et basses sont estimées à travers l'incertitude de l'ajustement statistique dont le coefficient de corrélation est de  $R^2=0.38$ . Le CAP ainsi estimé a été agrégé à l'ensemble des ménages à l'échelle de la population estimée du bassin versant. Le nombre de ménages dans le bassin versant est estimé à 28874 ménages (INSEE 2014).

### 2.2 Approche bottom-up

A la différence d'une approche top-down, l'approche bottom-up intègre des connaissances supplémentaires issues des différentes parties prenantes à une échelle représentative. Dans cette perspective, notre démarche suit les trois conditions préconisées par Carolus et al. (2018) : (i) la définition des stratégies par les parties prenantes locales, (ii) la participation des acteurs clés concernés par le problème environnemental et (iii) à une échelle géographique pertinente.

Les parties prenantes clés représentent l'ensemble des acteurs dont les intérêts peuvent être affectés, positivement ou négativement, par les stratégies (Colvin et al., 2016; Reed et al., 2009). Nous distinguons les acteurs publics, les représentants de société civile et la population. Avec des entretiens semi-directifs et des groupes de discussion mené entre juillet 2017 et décembre 2018, les parties prenantes ont participé à l'identification des co-bénéfices (Raymond, et al., 2017) et à la préparation du questionnaire d'évaluation

---

<sup>2</sup> Dans le contexte des stratégies GC1 et GC2, nous supposons que les co-bénéfices potentiels liés à la création de pistes d'accès sont négligeables.

des stratégies. L'enquête a été menée en face à face du 6 septembre au 15 octobre 2019 auprès d'un échantillon représentatif de 405 personnes. Le recrutement des répondants s'est fait au moyen d'une procédure d'échantillonnage aléatoire dans des lieux publics afin de respecter indépendamment trois critères de représentativité : la localisation géographique, le genre et l'âge.

La valeur économique totale des stratégies a été évaluée via la méthode d'évaluation contingente suivant les recommandations de Johnston et al. (2017). Cette méthode permet d'estimer la variation équivalente de l'utilité des répondants en fonction de leur stratégie préférée. Il était demandé aux enquêtés, dans un premier temps, de sélectionner le niveau d'ambition dans les deux catégories de stratégie (GC et SFN). Les enquêtés étaient informés sur le niveau des coûts socio-économiques (investissement et maintenance, expropriation et démolition de maisons) et des gammes de bénéfices potentiels de l'ensemble des mesures (réduction du risque d'inondation et des co-bénéfices). Dans un second temps, les enquêtés devaient indiquer, d'une part, s'ils sont prêts à contribuer financièrement pour la stratégie préférée et d'autre part, exprimer leur niveau de "CAP-borné" pour tenir compte des incertitudes relatives à la décision d'achat (Pondorfer et Rehman, 2018). Par ailleurs, il était demandé aux enquêtés qui refusaient de contribuer financièrement, de justifier leur choix afin d'identifier les réponses de protestations.

Certains enquêtés peuvent refuser de contribuer financièrement à leur stratégie préférée. Ce refus de payer peut avoir deux significations : (i) la stratégie préférée n'affecte pas l'utilité du répondant. Dans ce cas, son CAP est un « vrai 0 ». Ou alternativement (ii) le refus de contribuer est une réponse de protestation. Les raisons de ces réponses sont diverses (Frey & Pirscher, 2019). Selon Rankin & Robinson (2018), les refus de contribuer qui sont motivés par des raisons non-altruistes ou liées à l'efficacité perçue des biens évalués, sont généralement considérés comme des « vrai 0 ». A l'inverse, ceux qui sont motivés pour des raisons méthodologiques, de gouvernance ou du domaine de la morale, sont considérés comme les réponses de protestations (Meyerhoff & Liebe, 2010 ; Rankin & Robinson, 2018). Le CAP des répondants qui protestent a été estimé avec le modèle d'Heckman (1976) sur la base déterminants identifiés dans la littérature (cf. Zhai et al., 2006 ; Brouwer et al., 2009 ; Verlynde et al., 2019). Les estimations prennent en compte les caractéristiques socio-économiques, l'exposition au risque, les bénéfices valorisés, les valeurs environnementales et les perceptions (détails des estimations dans Gnonlonfin & Douai 2019).

### 3 Résultats

L'approche top-down complète n'a été appliquée qu'aux deux stratégies, GC2 et SFN1, proposées par les acteurs publics. Ces stratégies permettent des dommages évités annuels moyens comparables, estimés en moyenne (min ; max) à 0,5 (0,2 ; 0,7) M€/an, ce qui correspond sensiblement à une réduction de l'ordre de 30% des dommages annuels moyens (annexe 2, détails des modélisations dans Piton et al. 2018b, Gnonlonfin et al. 2019). Les impacts positifs de la stratégie SFN1 sur la qualité des milieux sont estimés à 28 (2 ; 353) €/ménage/an. Il en résulte un bénéfice social annuel de 0,8 (0,06 ; 10) M€/an.

Dans le cadre de l'approche bottom-up, les stratégies préférées sont : SFN1 à hauteur 44%, GC1 (28%), GC2 + SFN2 (18%) et SFN2 (10%). Aucun répondant ne préfère la seule stratégie GC2. Nous observons aussi que 69 % des enquêtés refusent de contribuer financièrement à leur stratégie préférée. Toutefois l'analyse des raisons justifiant ce refus montrent que 31% sont des réponses de protestations liées à la gouvernance locale et à la méthodologie de l'enquête (Gnonlonfin & Douai, 2019). Ce taux est similaire à ceux reportés dans la littérature (Meyerhoff & Liebe, 2010). Les résultats montrent que le modèle d'Heckman corrige le biais de sélection et prédit la moyenne empirique des CAP>0 (annexe 3). Le CAP moyen par ménage et par an (borne inférieur ; borne supérieur) est de: 83 € (31 ; 125) pour la stratégie SFN1; de 57 € (31 ; 81) pour la stratégie GC1; de 116 € (62 ; 173) pour la stratégie SFN2 et de 156€ (63 ; 240) pour la stratégie double GC2 +SFN2.

Les stratégies GC1 et SFN2 n'avaient pas été retenues dans les phases initiales du travail que trop peu ou trop ambitieuses. À dire d'experts, la GC1 peut localement réduire le niveau des inondations. Cependant, son effet sur la réduction des dommages est considéré comme négligeable. La SFN2 est plus ambitieuse que la SFN1 en terme de retrait des verrous formés par les réseaux routiers. Toutefois, son effet sur la réduction des dommages est très incertain, car dépendant d'autres facteurs météorologiques qui peuvent aggraver les dommages. Quant à la stratégie double GC2 + SFN2, elle est incohérente avec les objectifs de la GEMAPI. Elle ne peut être considérée comme une stratégie intégrée car les altérations environnementales liées à la GC2, ne seraient que partiellement compensées par les améliorations environnementales liées à la SFN2.

Le Tableau 2 résume les estimations des coûts et bénéfices sur une période de 50 ans et présente les ratios bénéfices/coûts (B/C) dans les deux approches. À l'exception de la GC1, toutes les autres stratégies enregistrent en moyenne un ratio B/C inférieur à 1. La GC1 est donc la seule stratégie efficiente. Elle a en effet, un coût relativement faible et ces partisans lui attribuent des bénéfices lui conférant un ratio B/C très positif. Ce résultat peut s'expliquer par la perception des riverains qui accordent une grande importance au problème d'obstruction des ponts par les arbres, tel le cas en Octobre 2015. Les ratios des stratégies évaluées dans les deux approches sont comparables en moyenne. Cependant, ils sont moins incertains dans l'approche bottom-up. Par ailleurs dans l'approche bottom-up, les ratios des stratégies SFN1 et SFN2 sont aussi comparables en moyenne et sont supérieurs au ratio de la double stratégie GC2 + SFN2. Ce résultat confirme les intuitions des acteurs publics à propos de la SFN2 et de GC2 + SFN2.

Dans l'approche bottom-up, les préférences suggèrent une forte demande sociale pour les stratégies de réduction du risque intégrant une composante de restauration des milieux. Au final, la SFN1 ressort comme la stratégie qui fait consensus entre les différentes parties prenantes. Elle intègre les préoccupations de réduction du risque, de l'amélioration environnementale et l'acceptabilité de la population.

**Tableau 2: Analyse coût bénéfice sur une fenêtre de 50 ans, estimations moyennes (min; max) en M€**

Stratégie	GC1	GC2	GC2+SFN2	SFN1	SFN2
<b>% de préférence rapportée dans l'enquête</b>	28%	0%	18%	44%	10%
<b>C. Coûts totaux</b>	7 (5 ; 10)	171 (89 ; 270)	294 (182 ; 481)	80 (59 ; 133)	123 (93 ; 211)
<b>B. Bénéfices (estimation top-down)</b>	~	14 (7; 20)	~	37 (7; 309)	~
<b>B. Bénéfices (estimation bottom-up)</b>	47 (25; 66)	0 (0; 0)	128 (57; 200)	68 (25 ; 103)	95 (51; 142)
<b>B/C des valeurs moyennes (estimation top-down)</b>	~	0.1 (0.1; 0.1)	~	0.5 (0.1 ; 2.3)	~
<b>B/C des valeurs moyennes (estimation bottom-up)</b>	6.7 (5; 6.6)	0 (0; 0)	0.4 (0.3 ; 0.4)	0.8 (0.4 ; 0.8)	0.8 (0.5; 0.7)

## 4. Discussion et conclusion

Malgré le débat sur l'évaluation économique de la nature dans la littérature, elle s'avère nécessaire dans certaines conditions pour éclairer la prise de décision (Kallis et al. 2013). Nous défendons ici l'idée d'appliquer la double approche, ACB top-down et ACB bottom-up, dans le contexte institutionnel de la GEMAPI pour faciliter le débat entre les différentes parties prenantes et éclairer leur prise de décision. Cette analyse contribue, ainsi, à lever en partie les lacunes liées à l'évaluation économique et au financement des SFN.

L'ACB top-down couvre d'abord le volet PI en démontrant l'impact des stratégies sur le risque sans la prise en compte les perceptions locales. Elle permet, en complément d'autres critères, d'éclairer les visions de l'Etat et de débloquent des financements au titre du Fond Barnier (CGDD, 2018). Elle permet également, dans le cadre du volet GEMA, de fournir une valeur économique aux impacts environnementaux et d'apporter une information supplémentaire pour la prise de décision des acteurs supra-régional tels que l'AE dont la décision de financement dépend de l'ambition des stratégies au niveau environnementales. Nos résultats montrent que dans le cas de la Brague les stratégies GC2 et SFN1 retenues par les acteurs publics sont non efficaces. Dès lors, les autres critères (sécurité des personnes, dommages indirects évités etc.) vont être déterminantes dans la décision de financement au titre du fond barnier.

L'approche bottom-up fournit à contrario des informations sur la perception locale et l'acceptabilité sociale des stratégies. Les entités "gemapiennes", qui partagent aussi les responsabilités PI et GEMA, ont la possibilité de lever une taxe d'un maximum de 40€/personne/an pour financer leur mission. L'évaluation des bénéfices apporte des informations sur l'acceptabilité sociale de la taxe en indiquant (i) les stratégies pour lesquelles la population locale est prête à contribuer financièrement et (ii) le montant de la contribution socialement acceptable. En effet, le CAP médian est considéré comme un bon indicateur de la contribution financière acceptable pour la majorité de la population (OCDE 2018). Dans le cas de la Brague, on note qu'il est nul pour les stratégies GC, soulignant ainsi la non-acceptabilité sociale d'une contribution financière pour ces stratégies malgré leurs bénéfices. Par contre, le CAP médian (/ménage/an) est estimé à 27 € pour la stratégie SFN1; 75 € pour la stratégie SFN2 et 59 € pour la double stratégie GC2 + SFN2; avec un intervalle d'incertitude compris respectivement entre 7 et 47 € ; 38 et 100 € et 8 et 100 €. Les entités gemapiennes ont donc potentiellement un pouvoir significatif de financement bien que le soutien des autres acteurs reste nécessaire sur les SFN. Le financement des AE dont le système de valeurs est fondé sur la qualité des milieux aidera à la promotion de ces stratégies.

Notre étude présente l'avantage de prendre en compte les incertitudes aussi bien dans l'estimation des coûts et des bénéfices. Nous proposons une analyse sensibilité étant donnée les informations disponibles à ce stade de la planification. Ce qui suggère une précaution dans l'interprétation des résultats. Par ailleurs, nos résultats sont aussi sensibles au nombre de ménages retenus pour l'estimation du bénéfice social. En l'absence d'information sur la distance à partir de laquelle le CAP est égal à zéro pour déterminer la population impactée, la littérature recommande d'utiliser l'ensemble de la population dans la zone administratif (Logar et al., 2019). Toutefois, dans le contexte institutionnelle français plusieurs niveaux administratifs se partagent la gouvernance du risque. Par exemple, dans le cadre de la Brague trois niveaux institutionnels peuvent être considérés: la communauté d'agglomération, l'entité gemapienne et les 11 communes intersectant le bassin de la Brague. Dans ces conditions, nous avons fait l'hypothèse conservatrice que seul les ménages résidants dans la limite géographique du bassin versant représente la population impactée par les stratégies. L'estimation des bénéfices sociaux correspond donc à la borne la plus basse car la population des 11 communes représente 3,4 fois la population retenue. Le calcul du bénéfice social à l'échelle des 11 communes induirait une balance  $B/C > 1$  pour les stratégies SFN dans les deux approches. Le niveau d'agrégation du bénéfice social est donc clé et devrait faire l'objet de recommandations claires.

La répartition des coûts entre les différentes parties prenantes est une question qui reste encore ouverte. Dans le contexte des SFN, qui intègrent les deux volets GEMA et PI, de nouveaux problèmes décisionnels en terme financement se posent: quelles composantes des stratégies SFN relèvent des missions de protection contre les inondations (PI) et quelles composantes relèvent de la restauration des milieux (GEMA)? Etant donné le caractère intégratif des SFN, il serait difficile de considérer séparément leur efficacité en terme de réduction du risque et de restauration des milieux. Le système de valeurs des parties prenantes sera donc déterminant.

## 5 Remerciement

Ce travail a été financé par le projet de la CE H2020 NAIAD (Grant Agreement n° 730497). Les auteurs tiennent à remercier les acteurs du bassin versant de la Brague, notamment le SIAQUEBA, la CASA, l'Agence de l'Eau RMC, la DDTM 06 et toutes les personnes qui ont contribué aux ateliers participatifs du projet NAIAD ainsi que Muhammad Badar MUNIR qui a réalisé une partie des modélisations des dommages évités et la CCR qui a fourni une courbe de dommage spécifique au bassin versant.

## 6 Références

- AE-RMC (2011). Elaboration d'un outil de détermination des coûts de restauration hydromorphologique des cours d'eau du bassin versant local et des bassins RMC. Rapport BURGEAP et Nicolas Triboullard Consultant, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 198p.
- AE-RMC (2016) Délimiter l'espace de bon fonctionnement des cours d'eau, Guide Technique du SDAGE, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 182p.
- Albert, C., Schröter, B., Haase, D., Brillinger, M., Henze, J., Herrmann, S., Matzdorf, B. (2019). Addressing societal challenges through nature-based solutions: How can landscape planning and governance research contribute? *Landscape and Urban Planning* 182 , 12–21.
- Andersson, E., Borgström, S., & McPhearson, T. (2017). Double Insurance in Dealing with Extremes: Ecological and Social Factors for Making Nature-Based Solutions Last. in "Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas, Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions", N. Kabisch et al. (eds.), 51-64.
- Arfaoui, N., Gnonlonfin, A. (2020): Testing Meta-Regression Analysis in the context of NBS restoration measures: The case of Brague River. Working Paper ESDES n°2020-02
- Arias-Arévalo, P., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., & Rincón, M. A. (2018). Widening the evaluative space for ecosystem services: A taxonomy of plural values and valuation methods. *Environmental Values* 27(1), 29-53.
- Brouwer, R., Akter, S., Brander, L., & Haque, E. (2009). Economic valuation of flood risk exposure and reduction in a severely flood prone developing country. *Environment and Development Economics* 14: 3, 397-417.
- Carolus, J. F., Hanley, N., Olsen, S. B., & Pedersen, S. M. (2018). A bottom-up approach to environmental cost-benefit analysis. *Ecological economics*, 152, 282-295.
- CGDD. (2018). Analyse multicritère des projets de prévention des inondations - Guide méthodologique. Paris: Commissariat général au développement durable.
- Colvin, R., Witt, G. B., & Lacey, J. (2016). Approaches to identifying stakeholders in environmental management: Insights from practitioners to go beyond the 'usual suspects'. *Land Use Policy* 52 , 266–276.
- Frey, U. J., & Pirscher, F. (2019). Distinguishing protest responses in motivations and attitudes behind them. *PLoS ONE* 14 (1), e0209872. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209872>.

- Gnonlonfin A.; Piton G.; Marchal R.; Munir M. B.; Wang Z.X.; Moncoulon D.; Mas A.; Arnaud P.; Tacnet JM. & Douai, A. (2019) DELIVERABLE 6.3 DEMO Insurance Value Assessment - Part 7: France: Brague. NAIAD H2020 project (Grant Agreement n° 730497), p. 267-428
- Gnonlonfin, A., Douai, A. (2019). Rapport d'enquête : Quel avenir pour la Brague face au risque d'inondation ? Rapport de recherche. EU Horizon 2020 NAIAD Project, Grant Agreement N°730497
- Heckman, J. J. (1976). The common structure of statistical models of truncation, sample selection and limited dependent variables and a simple estimator for such models. *Annals of economic and social measurement*, 5(4):475-492. NBER.
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., . . . Bonn, A. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society* 21(2):39.
- Kallis, G., Gómez-Baggethun, E., & Zografos, C. (2013). To value or not to value? That is not the question. *Ecological economics*, 94, 97-105.
- Logar, I., Brouwer, R., & Paillex, A. (2019). Do the societal benefits of river restoration outweigh their costs? A cost-benefit analysis. *Journal of environmental management*, 232, 1075-1085.
- Meyerhoff, J., & Liebe, U. (2010). Determinants of protest responses in environmental valuation: A meta-study. *Ecological Economics* 70, 366–374.
- OCDE. (2018). Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use. Éditions OCDE, Paris, doi: 10.1787/9789264085169-en
- Piton, G.; Philippe, F.; Tacnet, J.-m. & Gourhand, A. (2018a) Focus - Caractérisation des altérations de la géomorphologie naturelle d'un cours d'eau Application du Morphological Quality Index (MQI) aux projets d'aménagement du Grand Buëch à La Faurie. *Science Eaux & Territoires*, 26:58-61
- Piton G.; Dupire S.; Arnaud P.; Mas A.; Marchal R.; Moncoulon D.; Curt. T. & Tacnet, J. (2018b) DELIVERABLE 6.2 From hazards to risk: models for the DEMOs - Part 3: France: Brague catchment DEMO. NAIAD H2020 project (Grant Agreement n° 730497). Pp. 215-344
- Pondorfer, A., & Rehdanz, K. (2018). Eliciting Preferences for Public Goods in Nonmonetized Communities: Accounting for Preference Uncertainty. *Land Economics*, 94 (1), 73–86
- Préfecture des Alpes-Maritimes (2016), Inondations des 3 et 4 octobre 2015 dans les Alpes-Maritimes - retour d'expérience, République Française, <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/evenement/rex-inondation-des-3-et-4-octobre-2015-alpes-maritimes>
- Rankin, J., & Robinson, A. (2018). Accounting for protest zeros in contingent valuation studies: A review of literature. *HEG Working Paper*, No. 18-01, University of East Anglia, Health Economics Group (HEG), Norwich.
- Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., . . . Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science and Policy* 77, 15–24.
- Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., . . . Stringer, L. C. (2009). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management* 90 (1), 1933–1949.
- Rinaldi, M.; Surian, N.; Comiti, F. & Bussettini, M. (2013) A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI), *Geomorphology*, 180-181, 96-108
- Verlynde, N., Voltaire, L., & Chagnon, P. (2019). Exploring the link between flood risk perception and public support for funding on flood mitigation policies. *Journal of Environmental Planning and Management*, DOI: 10.1080/09640568.2018.1546676.
- Zhai, G., Sato, T., Fukuzono, T., Ikeda, S., & Yoshida, K. (2006). Willingness to pay for flood risk reduction and its determinants in Japan. *Journal Of The American Water Resources Association*, 927-940.

## 7 Annexe

Annexe 1 : Scores d'index MQI de qualité morphologique pour les tronçons #1 à #5 et selon les différents stratégies et changement par rapport à l'état actuel  $\Delta MQI = MQI_{\text{Strategy \#}} - MQI_{\text{Actuel}}$ .

Stratégie	Tronçon	Brague Gorges #1	Brague Biot #2	Brague Antibes #6	Valmasque Gorges #5	Valmasque Biot #4
Etat Actuel	MQI	<u>0.94</u>	<u>0.82</u>	<u>0.80</u>	<u>0.94</u>	<u>0.85</u>
GC2	MQI	<u>0.87</u>	<u>0.79</u>	<u>0.76</u>	<u>0.87</u>	<u>0.82</u>
	$\Delta MQI$	-0.07	-0.03	-0.04	-0.07	-0.03
SFN1	MQI	<u>0.97</u>	<u>0.86</u>	<u>0.90</u>	<u>0.97</u>	<u>0.88</u>
	$\Delta MQI$	0.03	0.04	0.1	0.03	0.03
SFN2	MQI	<u>0.97</u>	<u>0.87</u>	<u>0.95</u>	<u>0.97</u>	<u>0.88</u>
	$\Delta MQI$	0.03	0.05	0.15	0.03	0.03

Note : MQI = 0=altération totale; MQI =1=aucune altération

Annexe 2: Résultats des estimations de dommages évités en fonction des courbes de dommages (M€, 2018)

Situation	Situation actuelle			Stratégie GC2			Stratégie SFN1		
	CGDD bâti	CGDD m <sup>2</sup>	CCR local	CGDD bâti	CGDD m <sup>2</sup>	CCR local	CGDD bâti	CGDD m <sup>2</sup>	CCR local
Crue T=20 ans	6.0	15.0	23.2	4.9	12.1	19.0	4.1	10.2	16.1
Crue T=100 ans	11.4	27.5	42.5	7.0	17.2	26.8	7.2	17.5	27.8
Crue T=500 ans	15.4	37.2	52.4	9.8	23.8	37.4	12.1	29.3	43.0
Dommage moyen annuels	0.6	1.6	2.4	0.5	1.1	1.7	0.4	1.1	1.7
Dommages moyen annuel évité				0.2	0.5	0.7	0.2	0.5	0.7
Évité / Actuels				30%	29%	28%	32%	32%	31%

### Annexe 3: Résultats des estimations du CAP (€/ménage/an)

Sous-groupes	Estimation empirique		Estimation avec le modèle Heckman	
	Moyenne (écart-type)	Médiane	Moyenne (écart-type)	Médiane
CAP (protestations)			140 (116)	102
CAP=0	0	0	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
CAP>0	159 (381)	50	147 (101)	122

a : considérée égale à zéro.