

Analyse et gestion du risque d'envasement autour de la baie d'Antonina, Brésil : l'apport d'une démarche d'accompagnement

Frédéric Bertrand, Brice Anselme, Nicolas Becu

▶ **To cite this version:**

Frédéric Bertrand, Brice Anselme, Nicolas Becu. Analyse et gestion du risque d'envasement autour de la baie d'Antonina, Brésil : l'apport d'une démarche d'accompagnement. Bulletin de l'Association de géographes français, 2014, 91 (3), p. 289-308. hal-01178120

HAL Id: hal-01178120
https://hal.science/hal-01178120

Submitted on 17 Jul 2015

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

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

Analyse et gestion du risque d'envasement autour de la baie d'Antonina, Brésil. L'apport d'une démarche d'accompagnement

(SILTING ANALYSIS AND RISK MANAGEMENT IN THE BAY OF ANTONINA, BRAZIL. THE INSIGHTS OF A COMPANION MODELLING APPROACH)

Frédéric BERTRAND[*], Brice ANSELME[**] & Nicolas BÉCU[***]

RÉSUMÉ – *Le renforcement récent du cadre juridique et réglementaire régissant les activités de dragage au Brésil donne une dimension socio-environnementale nouvelle à la question du risque d'envasement et de contamination des eaux estuariennes, question rarement abordée avant le début des années 2000. Une première partie retrace les conditions d'émergence de la question du risque d'envasement au Brésil et, plus particulièrement autour de la baie de Paranaguá, en fonction des mutations récentes du système portuaire. Une seconde partie montre comment la gestion du risque d'envasement a été orientée précocement vers la maîtrise des écoulements continentaux considérés comme source majeure de danger pour la sécurité et le maintien des activités portuaires. Une dernière partie présente les difficultés de mise en place d'une gestion territoriale du risque d'envasement liée aux ambiguïtés de perception des différents acteurs et à la localisation aléatoire des événements pluvieux extrêmes, déclencheurs de mouvements de terrain et de laves torrentielles fortement contributifs à l'envasement de la baie.*

Mots-clés *: Envasement – Aménagement portuaire – Mouvements de terrain – Restauration écologique – Modélisation d'accompagnement.*

ABSTRACT – *The recent strengthening framework of law and regulation governing the activities of dredging in Brazil gives a new socio-environmental dimension to the crucial issue for both port activity and inhabitants of the siltation and the contamination of estuarine waters bodies, a topic that was rarely discussed openly until*

* Professeur de géographie à l'Université Paris-Sorbonne (Paris 4), UMR CNRS 8586 PRODIG, 2 rue Valette, 75005 Paris – Courriel : Frederic.Bertrand@paris-sorbonne.fr

** Maître de conférences en géographie à l'Université Panthéon-Sorbonne (Paris 1), UMR CNRS 8586 PRODIG, 2 rue Valette, 75005 Paris – Courriel : Brice.Anselme@univ-paris1.fr

*** Chargé de recherche CNRS, UMR CNRS 8586 PRODIG, 2 rue Valette, 75005 Paris, – Courriel : nicolas.becu@cnrs.fr

the early 2000s. Part one of the article redraws the emergence of the risk of accelerated siltation in Brazil, more particularly around the inner part of Paranaguá estuarine bay, in relationship with the recent transformations of the harbour system. The following part shows how the management of this risk was early directed to the control of the continental flows considered as a major source of danger for the security and the maintenance of port activities. A last part presents the difficulties to switch from a hazard-oriented to a territorial-oriented approach of risk management considering varying perceptions of risk among individuals and the unpredictable location of extreme rainy events that trigger landslides of various kinds resulting in silting up of the Antonina bay.

Key words: *Silting – Port planning – Landslides – Ecological restoration – Companion modelling.*

1. Introduction

La question des risques naturels au Brésil est dominée par les sécheresses dans la région *Nordeste* et par les mouvements de terrain et inondations catastrophiques associés aux pluies torrentielles qui s'abattent sur la bordure escarpée du Plateau brésilien dans les régions *Sudeste* et *Sul*. Les risques côtiers liés à des aléas littoraux peuvent être considérés au Brésil comme des risques nouveaux liés au développement du tourisme balnéaire de masse et à celui des ports de commerce dans le contexte de l'insertion compétitive du pays dans la globalisation. La modernisation des portes d'entrée et de sortie des flux du commerce international a fait émerger des risques environnementaux variés liés à la nécessité, dans des estuaires soumis comme celui de la baie de Paranaguá à de forts processus de sédimentation, d'entretenir régulièrement les chenaux de navigation par des dragages (Fig. 1).

Les impératifs de sécurité et d'accessibilité des zones portuaires dans une région soumise par ailleurs à un renforcement drastique de la réglementation en matière de protection environnementale ont conduit les acteurs locaux à mettre en place des stratégies de gestion du risque d'envasement à l'échelle des bassins versants tributaires de la baie. En vue d'accompagner les parties prenantes dans la mise en œuvre d'actions de mitigation, une équipe de géographes de l'UMR PRODIG a expérimenté une démarche d'apprentissage collectif à base de rôles et de jeu de rôles. Cette expérience a permis de mesurer la propension du réseau d'acteurs portuaires à générer des risques environnementaux à travers les défaillances de leur organisation conçue en tant que système.

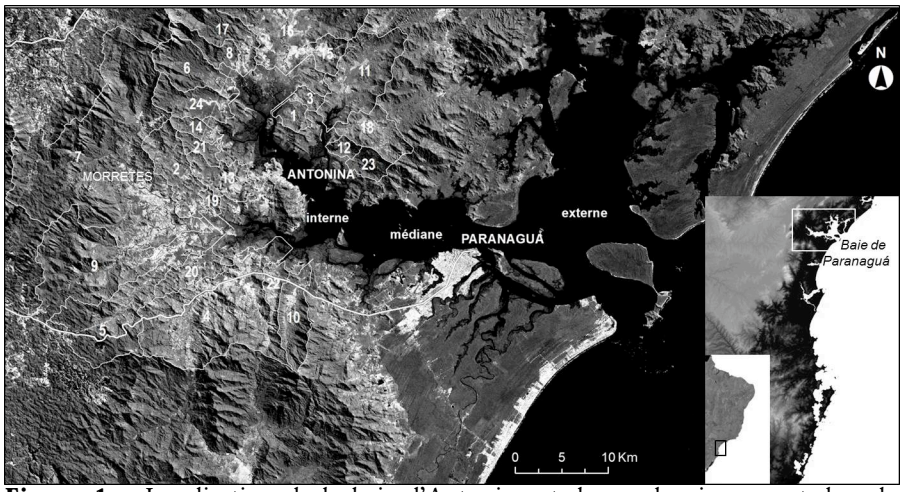


Figure 1 – Localisation de la baie d'Antonina et de son bassin versant dans la région sud-orientale du Brésil. Cours d'eau et sous-bassins mentionnés dans le texte : 4. Rio Sagrado, 5. Rio do Pinto, 7. Rio Nhundiaquara, 9. Rio Marumbi 10. Rio Jacarei, 11. Rio Faisqueira, 16. Rio Cachoeira.

2. Les conditions d'émergence du risque d'envasement au Brésil

2.1. Des risques liés à l'envasement longtemps sous-estimés

2.1.1. Des risques littoraux vus au prisme réducteur de l'érosion côtière

Le risque d'envasement est encore mal identifié au Brésil où, à l'instar de beaucoup de pays côtiers, les phénomènes d'érosion côtière sont considérés comme plus menaçants pour les populations côtières et le développement des activités littorales que les phénomènes de sédimentation littorale. Les études de vulnérabilité côtière qui se multiplient en relation avec les changements climatiques actuels se focalisent sur les fronts de mer afluviaux ne disposant pas d'une fourniture suffisante en sédiments pour contrecarrer les effets transgressifs du relèvement du niveau marin [Muehe 2010]. L'alluvionnement littoral et l'exhaussement consécutif des rives et des fonds des grandes baies d'ingression marine qui ourlent le littoral sud-oriental du Brésil représentent pourtant une source de danger dès lors que les moyens engagés pour résoudre les problèmes d'envasement s'avèrent dommageables pour les écosystèmes estuariens et les services d'approvisionnement (pêche, bois) et culturels (tourisme) rendus aux populations riveraines.

2.1.2. Un risque nouveau associé aux enjeux du développement portuaire

Le contexte de libre échange dans lequel s'inscrit le Brésil depuis sa sortie du modèle national protectionniste a nécessité de moderniser les portes

d'entrées brésiliennes [Monié 2011]. La réforme portuaire amorcée en 1993 a favorisé dans un premier temps (années 1990) une modernisation « lourde » du système portuaire (expansion et restructuration des ports existants) en lien avec une croissance importante de l'export des commodités (fer, soja). C'est seulement dans un second temps (années 2000) que l'irruption de la législation environnementale dans l'agenda de gouvernance des autorités portuaires a conduit à la prise en compte des conséquences environnementales des opérations portuaires essentielles que sont les mouvements de navires et le dragage dans les sites estuariens soumis à un processus d'envasement accéléré.

2.2. La vulnérabilité côtière, propriété émergente d'un système portuaire en mutation

2.2.1. Des aléas technologiques à portée réflexive limitée

En dépit du renforcement des ports brésiliens sur les routes maritimes du transport de conteneurs et surtout de vrac solide, très peu d'accidents impliquant la fonction même de transport ont été déplorés le long de la côte sud-orientale du Brésil. Il faut attendre le déversement accidentel d'hydrocarbures dans la baie de Paranaguá, consécutivement à l'explosion d'un chimiquier, le 15 novembre 2004, pour qu'une catastrophe écologique dans une région littorale où la pêche artisanale et le tourisme représentent des activités essentielles puisse être envisagée. Néanmoins, la mobilité des sources de dangers que représentent les très nombreux navires franchissant quotidiennement la passe de Paranaguá entre le continent et l'Ilha do Mel semble avoir favorisé une relative acceptation de l'aléa technologique par les populations fréquentant les plages riveraines de l'embouchure de la baie ou celles attenantes au complexe portuaire d'Antonina et un relatif désintérêt de la part des scientifiques en tant qu'objet de recherche. Ainsi, en dépit des menaces grandissantes que représentent le transport et la manipulation de matières premières à l'intérieur de la baie, la portée opératoire de cet accident est apparue limitée, conduisant les acteurs locaux à replacer son analyse dans le cadre de la problématique plus globale de l'envasement et des risques de contamination du milieu estuarien.

2.2.2. Une initiative locale de mise en réseau autour de la réglementation des activités de dragage

En l'absence d'une stratégie nationale de réduction des risques environnementaux, l'initiative est venue d'une ONG locale, l'Association pour la protection de l'environnement et la promotion du développement d'Antonina (ADEMADAN)[1] créée en 1997. En partenariat avec l'université privée

[1] Associação de Defesa do Meio Ambiente e do Desenvolvimento de Antonina.

Faculdades Integradas Espírita – FIES et l'Institut météorologique du Paraná –SIMEPAR, l'ONG ADEMADAN a incité l'autorité portuaire de Ponta do Félix-Antonina à s'engager dans la gestion environnementale conformément aux dispositions réglementaires adoptées dans le cadre de la Résolution n°344/2004 du Conseil National de l'Environnement (CONAMA) imposant aux opérateurs économiques des règles en matière d'évaluation des risques de contamination associés aux opérations de dragages. La thématique des dragages a ainsi réuni un premier réseau d'acteurs, dont l'autorité portuaire d'Antonina promise à devenir l'un des acteurs majeurs dans la gestion des programmes environnementaux portuaires dans la baie.

2.2.3. L'unification du réseau autour d'un programme fédérateur, le programme CAD

Le fort dynamisme de ce réseau local s'est traduit par la constitution d'un programme de recherche, le programme CAD[2] visant à un diagnostic environnemental du risque d'envasement et de contamination des eaux estuariennes de la baie de Paranaguá. Durant les premières phases I et II du programme (mars 2005-avril 2006), l'analyse s'est portée sur un territoire côtier étendu à l'ensemble des bassins versants débouchant dans les baies d'Antonina et de Paranaguá (2 078 km^2) en s'attachant, d'une part, à l'augmentation des apports sédimentaires à l'embouchure du principal cours d'eau, le Rio Cachoeira, en lien avec le détournement des eaux du Rio Capivari vers le Rio Cachoeira et le rejet des eaux de la centrale hydroélectrique COPEL et, d'autre part, aux sources de contamination des eaux estuariennes liées au lessivage des ordures par les précipitations. La phase suivante du programme (phase III, mai 2006-juillet 2007) marque une évolution à la fois organisationnelle et méthodologique en introduisant une approche intersectorielle et pluridisciplinaire du risque d'envasement.

3. Une stratégie de réduction du risque orientée vers la maîtrise de l'aléa

3.1. La recherche des causes du phénomène d'envasement

3.1.1. La consolidation du réseau d'acteurs autour d'une commission portuaire

Le programme n'a pas tardé à susciter l'adhésion de nouveaux acteurs scientifiques, en particulier l'Université Fédérale du Paraná–UFPR et l'Université Paris 1–Panthéon Sorbonne engagés par ailleurs depuis 2004 dans

[2] Contaminantes, Assoreamento e Dragagem (Contaminants, envasement et dragages)

un programme de recherche sur les zones humides de l'Etat de Paraná[3] (Fig. 2). Dès lors, l'attention s'est portée sur les aspects les plus variés de la question du risque d'envasement relevant aussi bien des politiques publiques que de l'ingénierie portuaire ou de la gestion environnementale [Boldrini & al. 2007, Boldrini & al. 2008]. Conjointement à un rapprochement entre réseaux d'acteurs impliqués à différentes échelles territoriales – communes, État, fédération – cette dynamique a permis aux acteurs locaux de s'engager dans la construction d'un véritable projet de territoire centré davantage sur la détermination et le contrôle des facteurs d'envasement au sein des bassins versants côtiers.

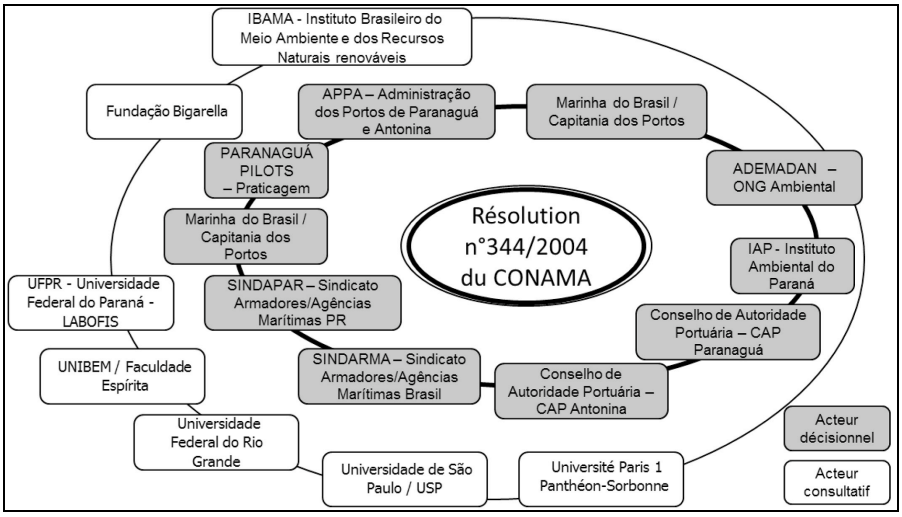


Figure 2 – Double cercle d'acteurs constitué autour de la commission de dragages chargée de l'application de la résolution CONAMA

3.1.2. La dégradation de la forêt atlantique en point de mire

Initié par l'ONG ADEMADAN à la lumière des premiers travaux biogéographiques [Marshall 2004, Rognant 2008], le diagnostic territorial s'est focalisé sur la zone de production et de transport de sédiments susceptible d'alimenter les petits fonds de la baie d'Antonina. La reconstitution de la carte de la végétation naturelle potentielle du bassin et sa comparaison avec la carte d'occupation et de couverture du sol en 1999 a ainsi mis en évidence la régression très marquée (430 km^2, soit -54%) de la forêt dense ombrophile submontagnarde couvrant des versants de pente forte moyenne et à potentiel

[3] Dans le cadre d'une convention internationale de recherche universitaire et d'un programme international de coopération scientifique (PICS-AGEPAR, CNRS) entre l'Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne et l'UFPR (responsables F. Bertrand / F. Mendonça)

érosif élevé, en particulier dans les deux sous-bassins du Rio Cachoeira et du Nhundiaquara [Paula & al. 2008]. Toutefois, la reconstitution rapide du couvert forestier doit conduire à relativiser l'impact érosif des défrichements passés à l'étage submontagnard et à considérer que la dégradation récente des forêts alluviales (117 km^2, -75%) a eu un impact plus décisif sur la production sédimentaire actuelle [Bertrand *op.cit.*]. Cette première approche du risque d'envasement par l'analyse des conditions d'émergence du risque (*Vulnerabilidade emergente dos terrenos*) a conduit logiquement les chercheurs brésiliens à s'intéresser plus spécifiquement au potentiel de production sédimentaire en tant que facteur préalable de vulnérabilité potentielle ou « naturelle » (*Vulnerabilidade Natural dos terrenos,* sous-entendu sans intervention de l'Homme sur le couvert végétal).

3.1.3. L'élargissement de la problématique au potentiel de production sédimentaire

Selon une méthodologie proche de celle ayant guidé la reconstitution cartographique de la végétation naturelle potentielle, une carte de la couverture pédologique potentielle a permis de préciser l'extension spatiale de sols faiblement évolués mais présentant un horizon d'altération, les cambisols, connus pour être sensibles aux processus de dégradation [Santos & al. 2009]. En combinant ces données pédologiques spatialisées avec les données relatives au degré de cohésion des matériaux parentaux des altérites, aux pentes et à la forme des versants, les géographes de l'UFPR ont pu dresser une carte du potentiel de production sédimentaire dans le bassin versant de la baie d'Antonina [Paula & al. 2010]. Faisant apparaître plus de la moitié (63,9%) des surfaces du bassin versant parmi les terres à potentiel de production sédimentaire modéré, cette carte conduit à relativiser l'importance des sols dans la détermination du potentiel de production sédimentaire et à suggérer *a contrario* qu'une légère régression de la couverture végétale peut jouer un rôle décisif dans l'accroissement de la production de sédiments [Paula & al. *op.cit.*]. Ainsi, les zones apparaissant comme à la fois peu dégradées et potentiellement productives de sédiments, situées sur les parties médianes et inférieures de l'escarpement bordier de la Serra do Mar ainsi que sur les versants concaves raccordant les lanières de glacis aux fond des vallées intra-montagnardes, ont été identifiées comme prioritaires pour la maîtrise de la production sédimentaire.

3.1.4. Tentative d'estimation de la production sédimentaire des bassins versants

L'influence de la végétation sur la production sédimentaire aux exutoires des bassins versants de la baie a pu être précisée dans le cadre d'une thèse de géographie comparant avec les outils de la géomatique deux scénarios de

production de sédiments : l'un dans les conditions d'occupation du sol en 2005, l'autre dans les conditions d'utilisation optimale du milieu par la végétation naturelle [Paula & al. *op.cit.*]. Il ressort de ce travail que trois des cinq bassins versants totalisant à eux seuls plus de la moitié des apports annuels de sédiments à la baie[4] comptent parmi ceux dont l'accroissement de la production sédimentaire, supérieur à 30 t/km^2/an par rapport aux conditions d'utilisation optimale du milieu par la forêt dense, semble être le plus fort. Au total, le bassin versant du Rio Sagrado dont la production sédimentaire semble s'être le plus accrue du fait de son occupation du sol (4 770 t/an) ainsi que les bassins du Rio Murumbi et du Rio Pinto qui présentent la production sédimentaire spécifique la plus élevée (respectivement 57,7 et 59,5 t/km^2/an) ont été retenus parmi les bassins devant faire l'objet, à l'avenir, d'actions visant à réduire l'intensité des mouvements de terrain pour limiter l'envasement de la baie.

3.2. La mise en place d'une stratégie d'atténuation des écoulements torrentiels

3.2.1. L'intégration des actions de mitigation dans le processus de délivrance des permis de dragage

La décision d'entreprendre des actions préventives destinées à réduire les dommages associés à l'envasement de la baie marque une étape importante du processus de gestion entamé autour du Comité de suivi des dragages. Par cette décision, l'ensemble des acteurs portuaires se sont engagés à soutenir l'élaboration et l'application de méthodologies de diagnostic, de restauration et de suivi des bassins versants afin, conformément au principe énoncé par la résolution n°344 du 25 mars 2004 du CONAMA, de déterminer les actions les plus efficaces permettant de réduire la fourniture de sédiments à la baie [Boldrini & al. 2008]. Afin d'assurer une implication de l'ensemble des acteurs portuaires, l'Autorité Portuaire des ports de Paranaguá et d'Antonina (APPA), opérateur public des dragages, ainsi que les opérateurs privés de terminaux à conteneurs *Terminais Portuários da Ponta do Felix* (TPPF) et *Cattalini* se sont vus confier la responsabilité de projets de diagnostic sur différents bassins versants : Rio Faisqueira, Rio Marumbi et Rio Sagrado pour l'APPA, Rio Pequeno et Rio do Pinto pour chacun des deux opérateurs. A travers la responsabilisation d'acteurs économiques dans la conduite d'actions visant à l'appropriation du risque d'envasement et de sa gestion par les populations à terre, ces projets mettent en œuvre un processus de concertation entre acteurs économiques, scientifiques et institutionnels unique à l'échelon national et peu courant dans les pays du Nord comme dans les pays du Sud.

[4] Avec des productions comprises entre 50,8 (Baixo Nhundiaquara) et 59,5 t/km^2/an (Rio do Pinto).

3.2.2. Une gestion territoriale en cours d'ébauche dans deux bassins versants pilotes

Deux bassins versants pilotes, celui du Rio Pequeno (112 km^2) et celui du Rio Sagrado (137,7 km^2), ont été sélectionnés pour définir ces aires de protection, le premier en raison d'une situation socio-environnementale très conflictuelle liée à la présence d'une population de paysans sans-terres au sein d'un bassin entièrement inscrit dans une aire de protection environnementale (APA) [Rognant 2005, Paula & al. 2008], le second par le fait qu'une partie de sa superficie (20%) s'inscrit dans un corridor de biodiversité où l'implantation de « réserves légales » est considérée au Brésil comme prioritaire. L'intérêt porté aux aires de protection permanente se comprend en fonction de l'opportunité de répondre conjointement au problème de l'envasement et aux préoccupations socio-environnementales qui ne manquent pas de se poser dans cette région depuis la « mise sous cloche » des derniers lambeaux de la forêt atlantique [Bertrand & al. 2006].

La méthodologie de désignation des aires d'intervention pour la mise en place d'actions d'atténuation (phase IV du programme CAD, 2007-2008) a permis de montrer que la ripisylve constituait, sur les deux bassins versants considérés, la catégorie d'aire de protection permanente qui, par son extension et son état de dégradation, offrait le potentiel de restauration écologique le plus intéressant en vue de limiter la production sédimentaire à l'exutoire des bassins versants. Ces résultats demandent toutefois à être diffusés, discutés à travers des programmes d'éducation environnementale visant à inciter les propriétaires terriens à s'engager dans des actions de restauration de la ripisylve. Autrement dit, cette stratégie d'atténuation des écoulements torrentiels doit être confortée par une appropriation effective par les populations terriennes de ce mode de gestion du risque d'envasement ainsi qu'à travers la confirmation, par des mesures de terrain, de la fonction de régulation des écoulements torrentiels dévolue à la ripisylve. Ces deux objectifs ont suscité l'expérimentation d'une démarche d'accompagnement ainsi que l'équipement climatologique et hydrologique des bassins versants.

4. Une gestion territoriale du risque à l'épreuve du terrain

4.1. Expérimentation d'une démarche d'apprentissage collectif

4.1.1. Intérêt d'une modélisation d'accompagnement appliquée à la gestion du risque d'envasement

S'appuyant sur la construction et l'utilisation de modèles de simulation pour explorer les interactions socio-environnementales au sein de systèmes en évolution comportant de nombreuses incertitudes [Barreteau & al. 2010], la modélisation d'accompagnement est un outil de réflexion de plus en plus

sollicité pour résoudre les questions complexes d'environnement, notamment en milieu côtier [Chlous-Ducharme & Gourmelon 2011]. Cet outil puise dans les démarches participatives pour construire à partir des différentes perceptions de l'environnement, considérées comme étant toutes légitimes et également subjectives, la définition commune d'objectifs à long terme [Ollagnon 1989].

Son application dans le cadre de la présente étude vise à accompagner un collectif de personnes, représentant les parties prenantes dans l'enjeu d'envasement de la baie de Paranaguá, dans la conduite d'une analyse sur les origines du processus, les responsabilités de chacun et les solutions envisageables. Parmi les différents outils mobilisés dans les démarches de modélisation d'accompagnement, la simulation participative à base de rôles, aussi appelée jeu de rôles (informatisé ou non), est particulièrement adaptée pour créer un espace d'échange, un lieu de partage de points de vue [Becu & al. 2011]. Elle a été retenue dans le protocole participatif mis en place pour cette étude et comporte 4 phases :

1. Co-construction d'un modèle conceptuel des interactions socio-environnementales liées à l'envasement de la baie permettant d'identifier les acteurs déterminants ainsi que les dynamiques liées au déclenchement et à la régulation des processus naturels ;

2. Implémentation du modèle conceptuel sous forme d'un modèle informatique de simulation participative à base de rôles autour d'une carte d'occupation du sol évoluant en fonction des actions des différents rôles ;

3. Mise en situation (au travers de la simulation participative) des acteurs et de leurs objectifs individuels (rentabilité économique, subsistance alimentaire, conservation environnementale) en considérant les conséquences de leurs actions en termes d'impact sur le potentiel de production sédimentaire du bassin recalculé à chaque tour ;

4. Analyse cindynique[5] (s'appuyant sur les résultats de la phase précédente) permettant d'identifier les causes génératrices de dangers (ou déficits systémiques cindynogènes - *DSC*) dans le regard à la fois pluriel (catégories d'acteurs) et multidimensionnel (dimensions des faits, des représentations, des règles, des valeurs et des objectifs) porté par les acteurs sur le risque d'envasement. L'objectif étant d'identifier *in fine* les contraintes liées à la réalisation d'un objectif commun d'atténuation de l'envasement.

Ainsi, le protocole établi combine modélisation d'accompagnement, permettant de dévoiler et de mettre en discussion les points de vue et l'analyse cindynique, structurant la formulation de solutions, dans une approche intégratrice.

[5] La cindynique est la science du danger telle que Kervern (1995) l'a théorisée.

4.1.2. Modèle conceptuel montrant l'incomplétude du réseau d'acteurs actuel

Le modèle conceptuel a été produit selon la méthode ARDI [Etienne 2009]. Il identifie, d'une part, des acteurs en lien direct avec la production sédimentaire des versants, à savoir les exploitants agricoles (*fazenderos*, *business farmers* et *nativos*), l'ONG conservationniste SPVS[6] impliquée dans la reforestation de la forêt atlantique brésilienne et l'usine hydroélectrique COPEL et, d'autre part, des acteurs indirects comme l'ONG ADEMADAN qui joue un rôle de relais d'informations scientifiques et institutionnelles et qui a une action de sensibilisation et de lobbying auprès des acteurs directs, ainsi que l'IBAMA, organisme public chargé de la délivrance et du contrôle des licences d'exploitation dans les aires protégées (Fig. 3).

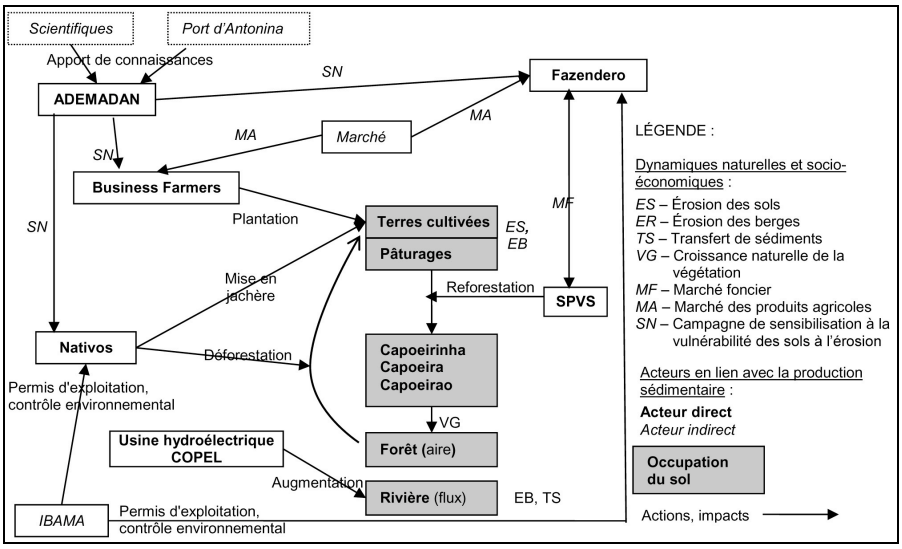


Figure 3 – Modèle conceptuel des interactions socio-environnementales liées à l'envasement de la baie d'Antonina.

Cette première phase d'expérimentation de la démarche d'accompagnement fait ressortir le caractère incomplet du réseau d'acteurs constitué autour de la réglementation des activités de dragage (cf. *supra*) et montre la nécessité d'étendre le processus d'apprentissage collectif à des acteurs non portuaires et non institutionnels, qu'ils soient industriels (COPEL), environnementaux (SPVS) ou individuels (exploitants agricoles) mais tous susceptibles de participer à la production sédimentaire des versants.

[6] *Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba,* www.spvs.org.br

4.1.3. Implémentation du modèle en une simulation participative

L'implémentation de ce modèle conceptuel en une simulation participative à base de rôles a consisté à (i) développer l'interface d'une carte dynamique (une carte de l'occupation du sol qui évolue dynamiquement en fonction des actions des différents rôles), (ii) définir et implémenter les fonctions de calculs du potentiel de production sédimentaire et (iii) définir les objectifs, moyens d'actions et règles des différents rôles. Le modèle de simulation informatique a été élaboré à l'aide de la plateforme Cormas [Le Page & al. 2012] grâce à laquelle la carte d'occupation du sol a pu être importée et traduite sous forme d'un réseau d'entités localisées en interaction. Pour le calcul des processus environnementaux, nous avons utilisé la méthode d'analyse de vulnérabilité du milieu de J.L.S. Ross [1994], qui attribue des scores de vulnérabilité naturelle et émergente à chaque portion d'espace représentée en fonction du type de sol, de la pente, du couvert végétal et des pratiques culturales. La même approche a été utilisée pour calculer le niveau d'érosion des berges.

Parmi les processus environnementaux, trois des dynamiques identifiées sont corrélées positivement à la quantité de sédiment produite à l'exutoire du bassin versant : l'érosion des sols exploités (SE), l'érosion des berges du lit mineur (RE) et le transfert sédimentaire fluvial jusqu'à l'exutoire du bassin. Le modèle conceptuel produit montre que les processus socioéconomiques qui régulent ou encouragent ces processus naturels sont la pression sur le marché foncier (LM), le marché agricole (CM) et les actions de sensibilisation et de lobbying de l'ONG environnementale (Fig. 3).

L'outil développé a ensuite été mobilisé auprès d'étudiants brésiliens[7] au cours de séances de simulation participative durant lesquelles les participants incarnaient les rôles de l'ONG de défense de l'environnement ADEMADAN, de l'ONG conservationniste SPVS, de la société hydro-éléctrique COPEL, enfin des *nativos*, des *fazenderos* et des *business farmers* comme décrit supra. Durant plusieurs tours de simulations, les participants devaient développer des stratégies pour répondre à leurs objectifs individuels (rentabilité économique, subsistance alimentaire, conservation environnementale,…) tout en prenant en considération les conséquences de leurs actions sur le potentiel érosif du bassin qui était recalculé à chaque tour. Cette mise en situation des acteurs dans l'espace de leurs relations avec les autres et avec l'environnement, a permis de faire ressortir de nombreux résultats relatifs à leurs positions stratégiques et à leurs motivations dans les jeux d'acteurs, à leurs besoins en information et en données (pour lesquels ils dépendent des autres), et aux contraintes techniques et sociales auxquelles ils font face dans leurs activités quotidiennes.

[7] Cours de mastère (*pós-graduação*) en analyse et de gestion des risques en zone côtière dispensé du 10 au 17 mai 2010 par les trois auteurs de l'article, dans le cadre d'un accord de coopération internationale entre l'UNIVALI et l'Université Paris-Sorbonne (Paris IV).

4.1.4. Repérage des insuffisances dans les perceptions du risque par les différents acteurs

Nous nous sommes ainsi appuyés sur ces résultats de séances de simulation participative, véritable miroir des interdépendances entre acteurs [Daré & al. 2008], pour réaliser une analyse cindynique du risque d'accroissement de la vulnérabilité érosive des versants en identifiant les déficits cindyniques pour trois acteurs en lien direct avec la production sédimentaire : l'ONG conservationniste SPVS, la société hydroélectrique COPEL et l'ONG de défense de l'environnement ADEMADAN. L'expérience de simulation participative a mis en exergue certaines ambiguïtés et/ou incohérences plus ou moins nombreuses selon ces acteurs.

Ainsi pour l'ONG ADEMADAN, l'accroissement de la vulnérabilité érosive des versants semble s'inscrire en premier lieu dans l'espace statistique de représentation du danger (Fig. 4), à travers le manque de fiabilité et le caractère encore très fragmentaire de données essentielles à la compréhension du phénomène (lacunes d'espace L_S, DSC_9) et, partant, l'absence d'une véritable banque de connaissance sur le fonctionnement du système d'érosion (lacune d'hyperespace LE, DSC_3). Ces insuffisances pénalisent en second lieu les actions de sensibilisation au risque d'érosion et participent à la difficulté de cet acteur à hiérarchiser ses objectifs et à expliciter sa stratégie entreprise auprès des autres acteurs (dégénérescence d'espace D.T, DSC_{23}).

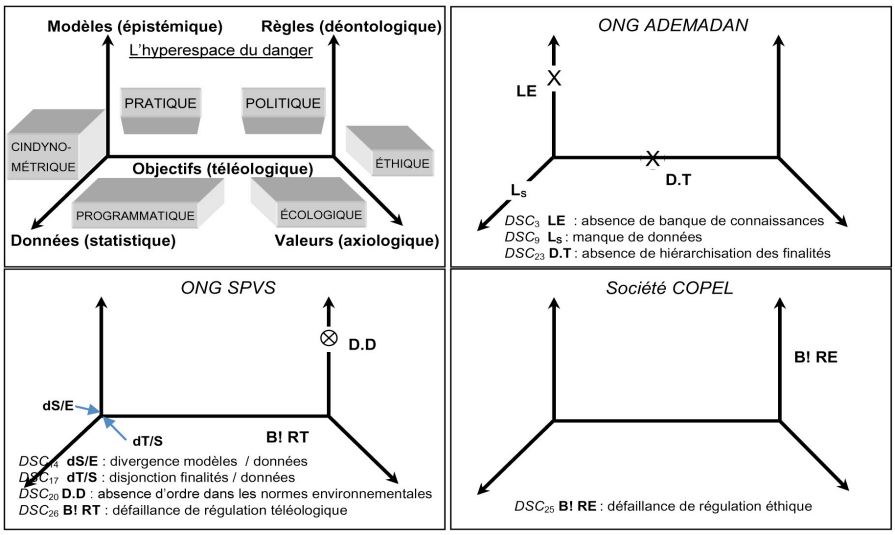


Figure 4 – Représentation de l'hyperespace du danger des trois principaux acteurs en lien direct avec la production sédimentaire des versants (en haut à gauche : dimensions du risque et domaines d'impacts bâtis sur deux espaces).

L'analyse cindynique de la société hydroélectrique COPEL révèle principalement un blocage des mécanismes de l'éthique (défaillance de régulation éthique B! RE, DSC_{25}), à la fois selon un axe autoréférentiel qui empêche cet acteur de s'interroger sur la contribution des lâchers d'eau à l'exacerbation des processus érosifs le long du Rio Cachoeira et selon un axe relationnel (ou hétéroréférentiel) où apparaît un déficit notoire de communication avec l'ensemble des autres acteurs. Ce blocage des capacités d'auto-critique et relationnelles s'apparente selon Kervern & Boulanger [2007] au refus et au refoulement cindynique et relève d'éléments culturels (culture de l'infaillibilité et de la non-communication) très largement impliqués dans les processus de production du danger.

Parmi les trois acteurs pris pour cible de l'analyse cindynique, l'ONG conservationniste SPVS est celui qui semble présenter la plus large palette de déficits cindynogènes. Ces insuffisances relèvent d'un défaut d'harmonisation entre les différentes dimensions de perception du risque, notamment entre la dimension des faits et des données (axe statistique) et celles d'une part de la représentation des faits (axe épistémique) et d'autre part des finalités multiples, dont la séquestration du carbone (axe téléologique). En effet, si les différents objectifs affichés par la SPVS – conservation de la biodiversité, restauration des aires dégradées, enrichissement des forêts secondaires et gains de carbone – concourent à une reconstitution du couvert forestier, plusieurs indices laissent à penser que la fermeture graduelle du paysage sur les bas de versant est susceptible d'entraîner, par majoration de l'infiltration par rapport au ruissellement, l'extension des surfaces saturées contributives dans l'espace du bassin versant et, donc, une augmentation de l'écoulement à l'exutoire [Bertrand & al. *op.cit.*]. Par ailleurs, la mise en défens des zones humides alluviales en voie de restauration a reporté la pression agricole en périphérie des réserves, notamment sur les bourrelets de rive, accentuant ainsi l'érodabilité des berges [Rognant 2008]. Ces contradictions affectent l'anatomie du système cindynique d'une partie prenante externe au programme CAD mais dont l'assise territoriale n'a cessé de se renforcer au cours des dernières décennies au sein du bassin versant de la baie d'Antonina. Elles affectent en particulier la mesure du danger (disjonction cindynométrique dS/E DSC_{14}) et fragilise l'approche programmatique de l'ONG SPVS en matière d'éducation environnementale (disjonction programmatique dT/S DSC_{17}). Ces incohérences s'accompagnent d'un certain désordre dans les normes environnementales relatives à la conservation et d'une déontologie incertaine en matière de gestion des terres (dégénérescence déontologique DSC_{20} D.D). Quand bien même la société réalise un effort pour définir sa mission auprès du grand public, sa raison d'être et ses liens avec les réseaux internationaux, en particulier plusieurs grands groupes industriels états-uniens (Chevron Texaco, American Electric Power et General Motors) sont loin d'être toujours explicités (défaillance de régulation téléologique DSC_{26} B! RT).

4.2. Une maîtrise de l'aléa remise en cause par les mouvements de terrain de mars 2011

4.2.1. La survenue de déstabilisations soudaines des versants raides

Un des freins au développement des actions de mitigation contre l'envasement de la baie d'Antonina provient du caractère incomplet des actions de restauration engagées dans les deux bassins versants pilotes. C'est le cas en particulier du bassin du Rio Sagrado dont les aires de protection permanente n'ont cessé de voir leur part de végétation naturelle régresser entre 1999 et 2005, contrairement aux sous-bassins du Rio Cachoeira et du Rio Pequeno où la végétation naturelle est en cours de reconquête dans ces catégories d'aire de protection [Bertrand & al. 2005, Nowatsky 2010]. Dans ces conditions, l'efficacité des mesures de mitigation préconisées par l'ONG ADEMADAN et auxquelles l'ensemble des acteurs portuaires se sont ralliés demeure conjecturale. C'est la raison pour laquelle, le programme CAD a engagé à partir de 2009-2010 un processus expérimental visant à acquérir des données hydrométéorologiques et hydrosédimentaires afin d'étudier les conditions de déclenchement des mouvements de terrain dans les bassins du Rio Sagrado et du Rio Marumbi, considérés comme les plus largement contributifs à l'envasement de la baie. Dans l'attente d'une restauration effective des aires de protection permanente qui permettra d'engager une analyse de l'action de mitigation engagée sur le terrain (retour d'expérience), quelques enseignements peuvent être tirés de l'événement pluvieux catastrophique survenu en mars 2011.

Cet événement, marqué par un total cumulé de précipitions du 1 au 12 mars 2011 supérieur à 600 mm, est lié à un épisode de très forte instabilité convective tel qu'il s'en produit relativement souvent au-dessus des reliefs escarpés de la Serra do Mar sans pour autant donner lieu à des catastrophes [Picanço & Nunes 2013]. Le retentissement de l'événement au-delà des frontières de l'Etat de Paraná est dû au nombre de victimes (4 morts, 221 blessés), aux populations déplacées (env. 33 000) ainsi qu'à l'endommagement des réseaux de distribution d'eau et d'électricité sans compter les perturbations du trafic routier entre le grand port exportateur de Paranaguá et son arrière-pays[8].

L'augmentation soudaine de la turbidité des eaux estuariennes liée à l'évacuation des eaux terrestres et de leur charge particulaire marqua également le paysage littoral. Un temps de réponse aussi rapide des eaux de la baie d'Antonina s'explique aisément par la pente moyenne élevée et de la forme en éventail de plusieurs sous-bassins favorisant des temps de concentration très courts. En revanche, la localisation des différents

[8] Le gouvernement du Paraná fut contraint de reconnaître l'état de catastrophe naturelle pour les communes de Morretes et d'Antonina ainsi que l'état d'urgence pour les villes de Paranaguá et Guaratuba.

mouvements de terrain (glissements superficiels, coulées de débris et laves torrentielles) à l'origine de l'augmentation soudaine de la turbidité des eaux à l'exutoire des bassins-versants est plus surprenante au vu de l'analyse du potentiel de production sédimentaire. Ainsi, les écoulements qui ont dévasté la plaine alluviale du Rio Jacarei proviennent d'un seul sous-bassin, de taille relativement réduite (40,2 km^2) – par rapport à la superficie des trois bassins (rio São João, rio Nhundiaquara et rio Marumbi) ayant généré les inondations catastrophiques de la plaine de Morretes (270 km^2) – dont le potentiel de production sédimentaire paraissait relativement faible par rapport aux autres sous-bassins. Les versants forestiers de cette vallée ont pourtant subi les glissements superficiels les plus nombreux se soldant par la dénudation spectaculaire du versant occidental de la Serra Preta sur une superficie d'environ 2,3 km^2 [Silveira & al. 2013]. Ces glissements ont été relayés par des coulées de débris affouillant localement jusqu'au substratum le lit des affluents de premier ordre puis par des laves torrentielles dans la partie aval du bassin du rio Jacarei entraînant la destruction de deux ponts situés au débouché de ce cours d'eau.

4.2.2. La distribution aléatoire des abats pluviométriques déclencheurs de mouvements de terrain

La survenue d'écoulements torrentiels à fort transport solide dans un sous-bassin de la baie d'Antonina, peu mis en exergue par les cartes de potentiel de production sédimentaire et de production sédimentaire effective réalisées à partir du croisement des données spatialisées, montre certaines limites des méthodes d'analyse spatiale appliquées à la connaissance des phénomènes hydrosédimentaires. En terme d'approche cindynique du risque, cet événement a surtout révélé une disjonction majeure autour de la problématique des mouvements de terrain entre, d'une part, la dimension des représentations et des modèles résultant de l'interprétation des composantes du milieu physique en interaction (dimension épistémique) et, d'autre part, la dimension des faits de mémoire servant à construire la représentation du risque (dimension statistique). Cette disjonction modèles / données (ou cindynométrique) pose question car elle a trait à la dimension statistique première du danger (gravité x probabilité) et peut faire douter de la capacité des acteurs scientifiques à prendre la pleine mesure d'un phénomène sporadique mais déterminant dans la production sédimentaire à l'exutoire des bassins versants de la baie. Elle peut être attribuée en partie à l'absence de retour d'expérience dans une région où des événements d'une telle intensité ne semblent s'être produits qu'en 1796 et 1848 [Picanço & Nunes *op.cit.*]. Mais l'intensité inattendue de l'événement pluviométrique déclencheur de la catastrophe est également attribuable aux difficultés de prévision des précipitations et de la très forte variabilité spatio-temporelle des pluies intenses en lien avec le cloisonnement du relief de la

Serra do Mar. De plus, dans l'attente d'une instrumentation de terrain nécessaire pour mieux apprécier le fonctionnement du milieu naturel, les seuils pluviométriques à partir desquels se déclenchent et se relaient les différents types de mouvement de terrain sur ces longs versants demeurent très hypothétiques, rendant par là-même la prévention de l'aléa quasi-impossible. Dans ces conditions, l'occurrence d'événements morphogènes paroxysmaux comme celui du 11 mars 2011 dans le bassin du rio Jacarei peut conduire à douter de l'efficacité de la restauration écologique des aires de protection permanente, qu'elles soient situées sur les versants ou le long des cours d'eau, et, plus largement, à s'interroger sur la stratégie de réduction du risque d'envasement adoptée par le réseau d'acteurs portuaires. Sans ouvrir ici le débat, on se contentera d'observer que les mouvements de terrain qui ont affecté récemment le bassin du rio Jacarei mais aussi la ville voisine d'Antonina posent la question plus large de la validation de la politique de gestion territoriale du risque d'envasement et des mécanismes d'appropriation effective de ce mode de gestion du risque par l'ensemble des populations concernées.

5. Conclusion

Au total, les mouvements de terrain qui ont affecté en mars 2011 les versants de la baie d'Antonina auront permis de dresser un premier bilan de la politique de gestion du risque d'envasement mise en œuvre autour de ce grand complexe estuarien. Il convient de souligner à fois, l'originalité de l'approche initiée par une ONG de protection de l'environnement, à partir de la réglementation nationale sur les dragages (dimension déontologique) et de la définition d'objectifs de sécurité portuaire (dimension téléologique) partagés par une majorité d'acteurs, et la rapidité de la mise en place d'une politique de réduction du risque d'envasement à travers l'articulation des deux dimensions déontologique et téléologique du danger. Ces deux aspects témoignent de la proximité des acteurs locaux et d'une capacité d'initiative et d'innovation en matière de gestion des risques naturels à la mesure des enjeux de développement portuaire dans un pays du Sud en forte croissance, comme le Brésil. Toutefois, la survenue d'écoulements torrentiels à fort transport solide dans un sous-bassin versant considéré jusqu'alors comme peu contributif à l'alluvionnement littoral montre l'insuffisance des bases de données et de connaissances permettant de mesurer précisément le potentiel de production sédimentaire des versants en tant que source de danger pour la navigation estuarienne. De ce point de vue, la mise en place d'un système de retour d'expérience visant à évaluer la contribution effective des événements hydroclimatiques paroxysmaux à l'alluvionnement littoral peut être considérée comme une des recommandations essentielles de ce travail.

On prendra garde toutefois de ne pas réduire le potentiel de danger à une dissonance statistique et épistémique entre le voulu des acteurs scientifiques et le perçu d'événements naturels comme celui de mars 2011. La réduction effective du risque d'envasement (et du risque de contamination des eaux estuariennes qui lui est étroitement associé) reste subordonnée au partage des mêmes finalités de sécurité maritime et environnementale. Or, ce qui est peut-être considéré comme la raison d'être du réseau d'acteurs portuaires constitué autour du programme CAD dépend non seulement de la validation de la stratégie d'atténuation des écoulements torrentiels par la pratique d'observations mais également de l'adhésion de l'ensemble des acteurs aux valeurs de durabilité et de respect des règles qui permettent d'équilibrer l'ensemble du système. Jusqu'à quel point acteurs décisionnels et consultatifs du programme CAD, sans compter les acteurs extérieurs au programme comme l'ONG SPVS, défendront-ils les mêmes valeurs dans un contexte économique d'émergence où la gestion des risques naturels et environnementaux est très subordonnée aux fonctions de production ?

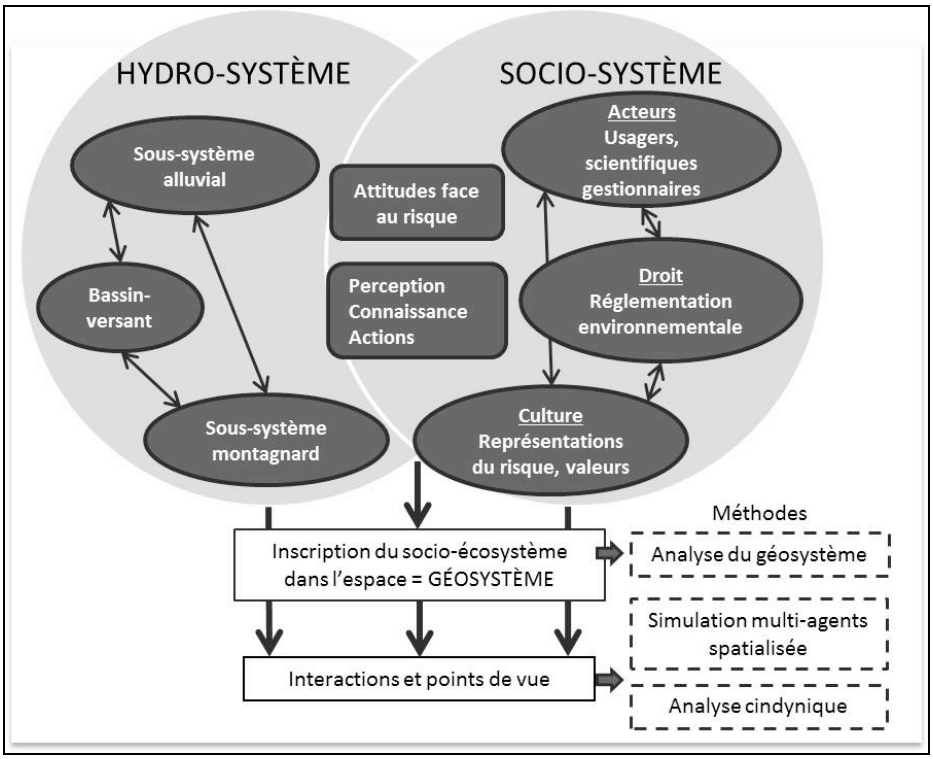


Figure 5 – Schéma récapitulatif de l'approche systémique et des méthodes d'analyse du risque d'envasement dans la baie d'Antonina/PR

Cette interrogation justifie l'application du protocole de recherche expérimenté dans le cadre d'une formation dispensée universitaire auprès des acteurs économiques réels de la baie (Fig. 5), en prenant soin d'étudier les mécanismes cindynogènes de voisinage susceptibles de se développer entre acteurs proches mais munis de systèmes de représentation du danger plus ou moins similaires (concept de dissonances).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- BARRETEAU, O., BOUSQUET, F., ÉTIENNE, M., SOUCHÈRE V. & D'AQUINO, P. (2010) - « La modélisation d'accompagnement : une méthode de recherche participative et adaptative », in: M. Etienne (Ed.), *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable,* Versailles, Quae Editions, pp. 21-46.
- BECU, N., BOMMEL, P., BOTTA, A., LE PAGE, C. & PEREZ, P. (2011) - « *How do Participants View the Technologies Used in Companion Modelling?* », in: M. Étienne (Ed.), *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable,* Versailles, Quae Editions, pp. 169-186.
- BERTRAND, F., ANSELME, B., BERGÈS, J.-C., BESSAT, F. & RAIMOND, C. (2005) - « A Geographical Approach to Assessing Coastal Wetland Vulnerability Around the Antonina Bay, Southern Brazil », Curitiba, *IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas,* 16 a 20 de maio de 2005 (CD ROM), 7 p.
- BERTRAND, F., ANSELME, B. & RAIMOND, C. (2006) - « La forêt atlantique brésilienne. Anciens et nouveaux défis environnementaux vus à travers l'État de Paraná », *Grafigéo,* vol. 30, pp. 37-47.
- BOLDRINI, E.B., SOARES, C.R. & PAULA, E.V. (Orgs.) (2007) - *Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental. Antonina: Governo do Estado do Paraná,* SEMA/PR, ADEMADAN, UNIBEM.
- BOLDRINI, E.B.; SORAES, C.R. & PAULA, E.V., (Orgs.) (2008) - *Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente,* Antonina, ADEMADAN, UNIBEM, Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (MCT), 296 p.
- CHLOUS-DUCHARME, F. & GOURMELON, F. (2011) - « Modélisation d'accompagnement : appropriation de la démarche par différents partenaires et conséquences », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], vol. 11, n°3, doi:10.4000/vertigo.12163
- DARÉ, W., AUBERT, S., BAH, A., BOTTA, A., DIOP-GAYE, I., FOURAGE, C., LAJOIE, G. & LECLERC, G. (2008) « Difficultés de la participation en recherche-action: retour d'expériences de modélisation d'accompagnement en appui à l'aménagement du territoire au Sénégal et à la Réunion », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], vol. 8, n°2, doi:10.4000/vertigo.5012
- ÉTIENNE, M. (2009) - *Co-construction d'un modèle d'accompagnement selon la méthode ARDI : guide méthodologique,* Laudun, Cardère éditeur, 71 p.
- KERVERN, G.-Y (1995) - *Éléments fondamentaux des cindyniques*, Economica, Paris, 112 p.

- LE PAGE, C., BECU, N., BOMMEL, P. & BOUSQUET, F. (2012) - « Participatory agent-based Simulation for Renewable Resource Management: the Role of the Cormas Simulation Platform to Nurture a Community of Practice », *Journal of Artificial Societies and Social Simulation,* vol. 15, n°1, http://jasss.soc.surrey.ac.uk/15/1/10.html
- MARSHALL A. (2004) - *Étude de l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de Cachoeira (Paraná, Brésil)*, mémoire DEA, université Paris 1 - Panthéon Sorbonne, 97 p.
- MESQUITA, A.R. (2003) – « Sea-level Variations along the Brazilian Coast: a Short Review », *Journal Coastal Research,* vo. SI35, pp. 21-31.
- MONIÉ, F. (2011) - « Mutations du système portuaire et enjeux du développement territorial dans les villesports du Brésil », *IFSTTAR - Séminaire Maritime : Le système portuaire brésilien et la relation ville-port,* 4 p.
- MUEHE, D. (2010) - « Brazilian Coastal Vulnerability to Climate Change », *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, vol. 5, n°2, pp.173-183.
- OLLAGNON, H. (1989) - « Une approche patrimoniale de la qualité du milieu naturel », in: N. Mathieu & M. Jollivet (Eds.), *Du rural à l'environnement, la question de la nature aujourd'hui,* L'Harmattan, ARF, pp. 258-268.
- PAULA, E.V., SANTOS, L.J.C., BERTRAND, F. & ANSELME, B. (2008) – « Estimitiva da Vegetação Natural Potential na Área de Drenagem da Baía de Antonina », *Floresta*, UFPR, Curitiba, vol. 38, pp. 315-325.
- PAULA, E.V. (2010) - *Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR: uma abordagem geopedológica*, Tese doutorado Geografia, UFPR, Curitiba, 168 p.
- PAULA, E.V., SANTOS, L.C.S. & UBER, J.A. (2010) - « Análise da suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos na área de drenagem da baía de Antonina/PR », *Revista de Geografia*, Recife, UFPE – DCG/NAPA, vol. especial VIII SINAGEO, n°2, pp. 134-147.
- PICANÇO, J.L. & NUNES, L.H. (2013) – « A Severe Convective Episode Triggered by Accumulated Precipitation in the Coast of Paraná state, Brazil », *7th European Conference on Severe Storms (EãçCSS2013)*, 3-7 June 2013, Helsinki, Finland, 3 p.
- POLETTE, M., REBOUÇAS, G.N, FILARD, A.C.L. & VIEIRA, P.F. (2006) - « Rumo à gestão integrada e participativa de zonas costeiras no Brasil: percepções da comunidade científica e do terceiro setor », *Revista de Gestão Costeira Integrada*, vol. 4, pp. 43-48.
- ROGNANT, C. (2007) - *« Quand la forêt se referme » : Agricultures et protection de la forêt dans le bassin versant de Cachoeira (Paraná, Brésil),* mémoire de master 2, université Paris I-Panthéon Sorbonne**,** 129 p.
- ROSS, J.L.S. (1994) - « Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados », *Revista do Departamento de Geografia*, FFLCH/USP, São Paulo, vol. 8, pp. 63-74.
- SANTOS, L.J.S., PAULA, E.V. & GROCHOVSKY, M.A.F. (2009) – « Mapeamento geomorphológico como subsídio à identificação e à estimative dos solos na área de drenagem da baía de Antonina (PR) », *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol.10, n°2, pp. 29-36.
- SILVEIRA, C.T., FIORI, A.P., FERREIRA, A.M., DE MIO, G., SILVEIRA, R.M.P., MASSULINI, N.E.B., & LEONARDI, T.M.H. (2013) - « Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na bacia do rio Jacareí, Paraná », *Soc. & Nat., Uberlândia*, vol. n°3, pp. 623-639.