

Partenaires :

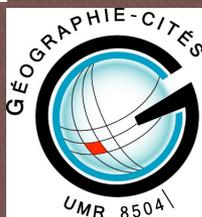
¹ UMR Géoazur

² UMR Géographie-Cités

³ LMAH et LITIS

LES COMPORTEMENTS HUMAINS EN SITUATION DE CATASTROPHE : LES COMPRENDRE POUR MIEUX LES PRÉVENIR

D. Provitolo¹, E. Dubos-Paillard², N. Verdière³,
V. Lanza³, G. Cantin³, R. Charrier³
C. Bertelle³, M.A. Aziz-Alaoui³.



Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS – AO Peps HuMaln (Humanité-Mathématiques - sciences de l'Information) 2013 et 2014



**? S'INTÉRESSER AUX
COMPORTEMENTS ?**

Du côté de l'observation des comportements...

- La plupart des recherches portent soit sur:
 - A) L'observation des réactions pour un événement ou un aléa spécifique
 - B) L'analyse d'un comportement type tel que le pillage ou la panique (Crocq, 2013)



Analyser les comportements humains: Ex. Tsunami de 2004

QUESTIONNAIRE ASTARTE

Référence du questionnaire ASTARTE

1. N° du questionnaire

2. Pays de l'enquête
 1. FRANCE 2. GRECE 3. ITALIE 4. MAROC 5. NORVEGE 6. PORTUGAL
 7. ESPAGNE 8. TURQUIE

3. Site Test

4. Localisation

5. Date

6. Contexte de l'entretien (heure, météo ...)

7. Enquêteur :

Relation de l'interviewé au site

8. Depuis combien de temps vivez-vous / êtes-vous à XXX ?

1. Quelques heures 2. Quelques jours 3. Moins d'1 an 4. 1-5 ans 5. 5-10 ans
 6. Plus de 10 ans

9. A quelle fréquence venez-vous à XXX ?

1. Tous les jours / nuits 2. Toutes les semaines 3. Tous les mois 4. Plusieurs fois par an
 5. Une fois par an 6. Jamais, c'est la première fois

10. Pour quelle raison êtes-vous à XXX ?

1. Je travaille ici 2. Je suis en vacances / je fais du tourisme 3. J'habite ici

11. Quelle est votre principale activité ici ?

1. Je nage 2. Je cours 3. Je me promène 4. Je regarde la mer 5. Je travaille
 6. Je pêche 7. Je joue au ballon 8. Autre

12. Autre :

13. Comment êtes-vous venu à XXX ?

1. A pieds 2. A vélo 3. Avec ma voiture 4. Avec une autre voiture (taxi...)
 5. En moto / scooter 6. En bus 7. En train 8. En avion 9. En bateau

14. Selon vous, quels sont les principaux risques pouvant arriver à XXX ?

1. Risques (5 maximum) :

2. Je ne sais pas

15. Selon vous, quels sont les principaux risques naturels pouvant toucher XXX ?

Du côté de l'observation des comportements...

- Les objectifs scientifiques sont alors différents :
 - A) il s'agit pour un événement particulier ou un type d'aléa: d'identifier les différentes réactions comportementales produites ou « imaginées » et de les mettre en perspective les unes par rapport aux autres afin de tenter de les quantifier.
 - B) il s'agit d'identifier, voire de démontrer, la récurrence d'un comportement lors d'événements différents, d'en révéler les causes et mécanismes généraux, et d'en décrire les différentes formes.

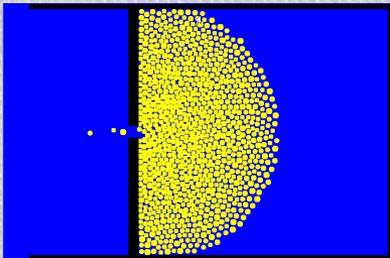
Du côté de l'observation des comportements...

- Difficulté de comparer les comportements qui peuvent se produire lors de différents événements catastrophiques
- Ces recherches prennent rarement en compte l'avancée des connaissances en neurosciences qui enseignent que, lors d'un choc, l'être humain reste rarement figé dans un seul type de comportements
 - * Réactions instinctives
 - * Réactions raisonnées
- Difficile prise en compte des interactions entre les individus

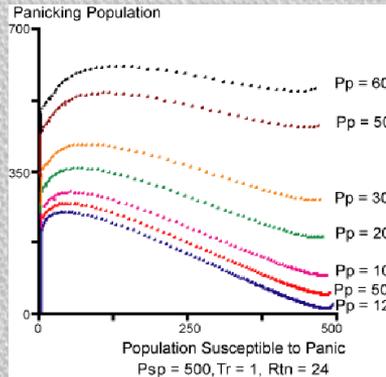
Du côté de la modélisation des comportements...

- Des modélisations à différentes échelles :
 - Niveau microscopique: automate cellulaire ou SMA
 - Niveau macroscopique: équations différentielles

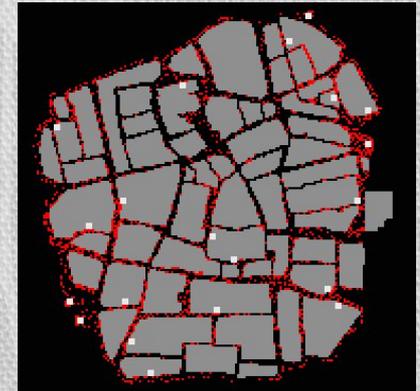
Généralement ces modèles considèrent un type de réaction (la panique), s'intéressent aux trajectoires de déplacement, et chaque individu adopte le même comportement tout au long de la catastrophe



Helbing et al., Simulating dynamical features of escape panic



Spread and Emergence of panic
Provitolo, 2007, ECCS



Trajectoires de déplacement

Objectifs de cette recherche pluridisciplinaire

- Identifier à partir des données d'observation et des recherches en neurosciences, la diversité des comportements humains pouvant se produire lors de catastrophes majeures,
- Organiser cette connaissance en proposant une typologie des comportements et des trajectoires de déplacement,
- Et les modéliser en intégrant le rôle des interactions dans la mise en place de comportements collectifs

A stylized, light-colored illustration of a plant with several leaves and a cluster of small, round buds or flowers, positioned on the left side of the slide against a dark brown background.

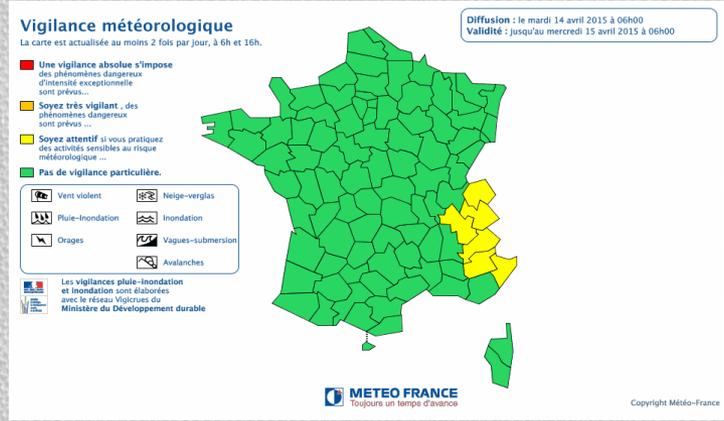
**PARTICULARITÉS DES COMPORTEMENTS
EN SITUATION DE CATASTROPHE ET
ELABORATION D'UNE TYPOLOGIE DES
COMPORTEMENTS OBSERVÉS**

Définition du comportement humain

- Il correspond aux « réactions d'un individu, considéré dans un milieu et dans une unité de temps donnée à une excitation ou un ensemble de stimulation » (Sillamy, 1993).
- Le comportement (C) dépend à la fois de la personne (P) et de son environnement (E) (Lewin, 1936),
$$C=f(P,E)$$

Paramètres conditionnant les comportements face au risque et catastrophe

La nature de l'aléa et les phases temporelles de la catastrophe (paramètre E).



Les zones de la catastrophe (paramètre E)

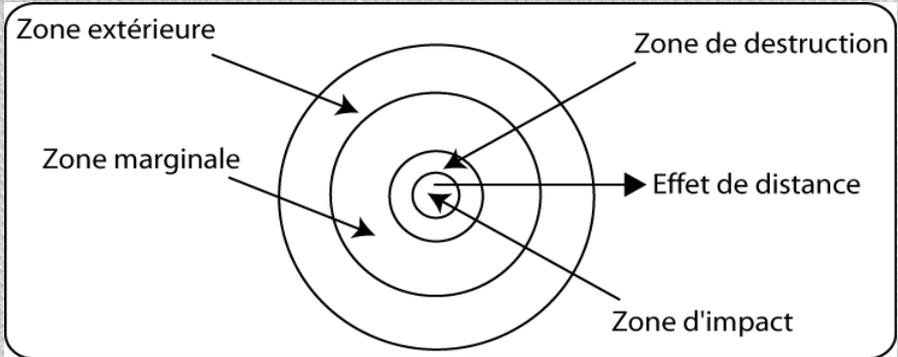


Figure : Les zones de la catastrophe lors d'un tremblement de terre, Crocq, 1994

Paramètres conditionnant les comportements face au risque et catastrophe

- Les spécificités de la zone impactée (paramètre *E*).
- Les caractéristiques des individus et de la population (paramètre *P*).
 - Âge, Sexe, Agilité....
 - Apprentissages générateurs de comportements réflexes (éducation , expériences passées)



- Dimensions culturelles (jouent essentiellement avant et après l'événement, *Baumann et Sims, 1974*)

Un invité surprise...,quelles sont les réactions comportementales que nous pouvons observer?



Sideration/Terror

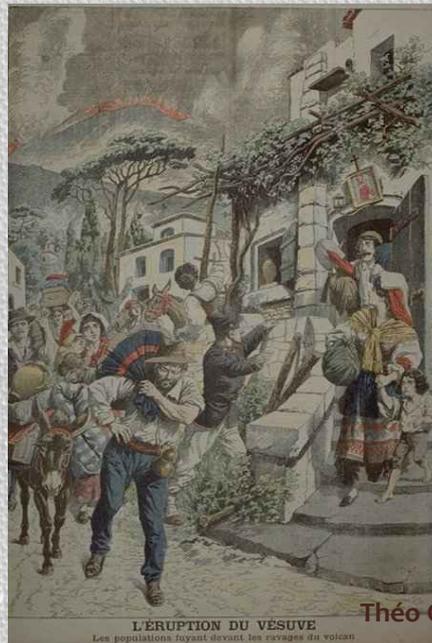


Flight

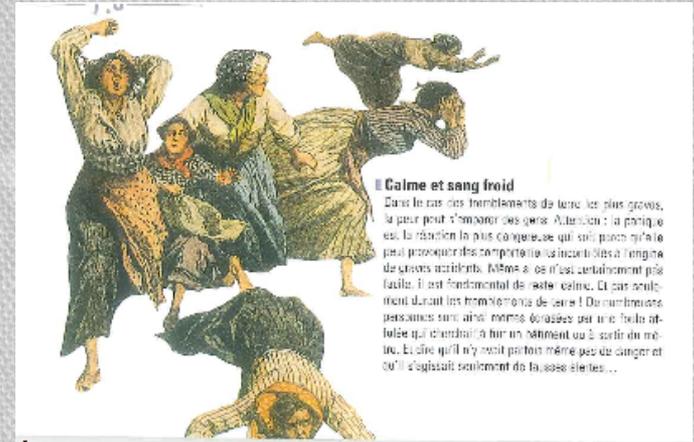


Taking Shelter:
Prevention exercise
in Japanese schools

If the earth
shakes, do not
shake with fear!



Théo Quant Mai 2015 - D. Provitolo



Calm et sang froid
 Dans le cas des tremblements de terre les plus graves, la peur peut s'emparer des gens. Autant que la panique est la réaction la plus dangereuse qui soit, parce qu'elle peut provoquer des comportements inadéquats à l'origine de certains accidents. Même si ce n'est certainement pas facile, il est fondamental de rester calme. Et sans doute aussi durant les tremblements de terre ! De nombreuses personnes sont ainsi mortes étouffées par une table retournée qui chancelait à leur air s'effondrant ou à leur fuite maladroite. Et cela, qu'il y avait parfois même pas de danger et qu'il s'agissait seulement de fausses alertes...

Losing one's self control

Organiser la connaissance afin de comparer différentes situations

- De rares essais de typologies

Zones de la catastrophe	Comportements humains
Zone d'impact	Inhibition, Stupeur, Prostration, Panique
Zone de destruction	Inhibition, Fuite centrifuge, Agitation, Panique
Zone marginale	Incertitude, Indécision, Rumeur, Exode
Zone extérieure	Sympathie, Convergence, Réparation

Tableau - Les comportements humains en fonction des zones de la catastrophe, Crocq, 1994

- Focalisation sur les comportements « inadaptés »
- Non prise en compte:
 - Des phases de la catastrophe (rôle clef dans les réponses apportées à la situation)
 - Des avancées des neurosciences

Typologie générique des comportements en situation de catastrophes et dynamique des déplacements

Principaux types de comportements	Dimension temporelle			
	Phase préalable au choc	Choc	Phase postérieure au choc	
	Danger distant annoncé	Danger imminent annoncé et personnellement menaçant	Danger présent prévu ou imprévu	Immédiat post-impact
Comportements instinctifs				
° Fuite panique		X (→)	X (O→)	X (→)
° Sidération			X (O)	X (O)
° Lutte instinctive			X (O)	
° Agitation		X (O)	X (O)	X (O)
° Comportement d'automate		X (O→)	X (O→)	X (O→)
Comportements acquis et intelligents				
° Evacuation /Fuite	X (→)	X (→)	X (→)	X (→)
° Confinement/Mise à l'abri	X (O)	X (O)	X (O)	X (O)
° Lutte réfléchie contre les effets du désastre (envisagés ou réels)	X (O←)	X (O←)	X (O)	X (O←)
° Immobilisme contraint ou réfléchi		X (O)	X (O)	X (O)
° Recherche des proches	X (O←)	X (O←)	X (O←)	X (O←)
° Recherche de secours			X (O)	X (O→)
° Entraide (Assistance, secours)		X (O←)	X (O←)	X (O←)
° Curiosité d'urgence)			X (←)	X (O←)
° Comportements déviants (pillage, vol, violence ...)				X (O←)
° Retour sur le lieu d'habitation / de travail				X (←)
<p>X Comportement susceptible d'être observé ← Déplacement vers la zone d'impact et la zone de destruction effective ou potentielle → Eloignement de la zone d'impact et la zone de destruction effective ou potentielle O Absence de déplacement ou déplacements au sein de la zone d'impact et la zone de destruction</p>				

Source : Provitolo et al. 2015, à paraître, Cybergéo; Provitolo et al., Rapport Peps 2013

Dimension temporelle

Phase préalable
au choc

Choc

Phase postérieure
au choc

Principaux types de comportements

Danger distant
annoncé

Danger imminent
annoncé et personnellement
menaçant

Danger présent
prévu ou imprévu

Immédiat post-
impact

Comportements instinctifs

	Danger distant annoncé	Danger imminent annoncé et personnellement menaçant	Danger présent prévu ou imprévu	Immédiat post- impact
° Fuite panique		X (→)	X (O→)	X (→)
° Sidération			X (O)	X (O)
° Lutte instinctive			X (O)	
° Agitation		X (O)	X (O)	X (O)
° Comportement d'automate		X (O→)	X (O→)	X (O→)

Comportements acquis et intelligents

° Evacuation /Fuite	X (→)	X (→)	X (→)	X (→)
° Confinement/Mise à l'abri	X (O)	X (O)	X (O)	X (O)
° Lutte réfléchi contre les effets du désastre (envisagés ou réels)	X (O←)	X (O←)	X (O)	X (O←)
° Immobilisme contraint ou réfléchi		X (O)	X (O)	X (O)
° Recherche des proches	X (O←)	X (O←)	X (O←)	X (O←)
° Recherche de secours			X (O)	X (O→)
° Entraide (Assistance , secours d'urgence)		X (O←)	X (O←)	X (O←)
° Curiosité			X (←)	X (O←)
° Comportements déviants (pillage, vol, violence ...)				X (O←)
° Retour sur le lieu d'habitation / de travail				X (←)

X Comportement susceptible d'être observé

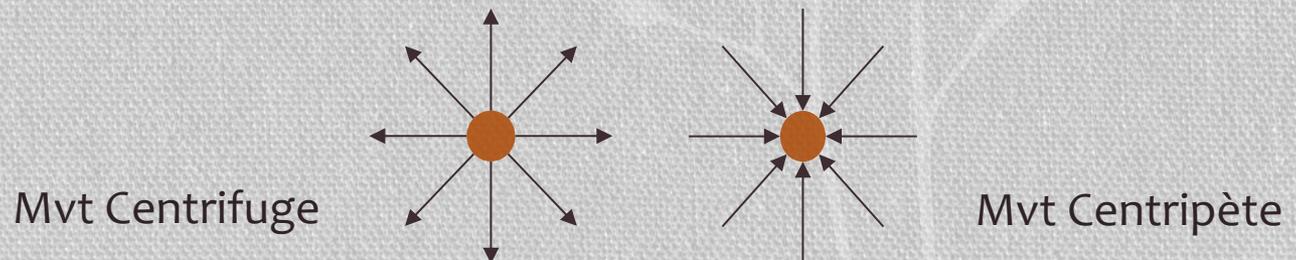
← Déplacement vers la zone d'impact et la zone de destruction effective ou potentielle

→ Eloignement de la zone d'impact et la zone de destruction effective ou potentielle

O Absence de déplacement ou déplacements au sein de la zone d'impact et la zone de destruction

Apparition d'un modèle centre-périphérie éphémère

- La catastrophe est créatrice de nouvelles centralités (Dubos-Paillard, Provitolo, à paraître Chemins de Traverse; Provitolo et al. 2013, Rapport Peps)
 - * Lorsqu'elle est **annoncée**, les secteurs susceptibles d'être impactés voient se développer des mouvements centrifuges (fuite organisée, évacuation) et centripètes (armée, forces de l'ordre).
 - * Durant le **choc**, on peut avoir différents modèles spatiaux (afflux vers les places aérées, fuite vers les points hauts, mise à l'abri, absence d'organisation spatiale)
 - * **Après le choc**, réapparition temporaire du modèle centre-périphérie: mouvements centripètes (afflux des secours, retour après évacuation, recherche des proches, profiteurs) centrifuges (évacuation des populations blessées, départ (temporaire) en raison de la destruction totale des biens)
 - * Au fur et à mesure que la situation « normale » revient, ce modèle centre-périphérie « disparaît ».



Les propriétés communes à l'ensemble des comportements lors d'une catastrophe

- Les comportements sont essentiellement **de nature non traditionnelle**, ils ne correspondent pas aux comportements de la vie de tous les jours.
- **Un comportement en période de catastrophe n'est pas spécifique à un niveau d'analyse**: individus, famille, groupe ou organisation.
- **Un comportement à temporalité brève** : comportement limité dans le temps avec *in fine* un « retour au comportement du quotidien ».

(Source : Provitolo et al. 2015, à paraître, Cybergéo; Rapport Peps 2013)

Les limites de l'observation et des typologies existantes

- Une information statique, ponctuelle et contextualisée qui permet difficilement d'embrasser la diversité des réactions humaines pouvant se produire lors de catastrophes (multi dimensionnalité)
- La non prise en compte des avancées des neurosciences
- La difficile prise en compte des interactions entre les individus

A stylized, light-colored illustration of a plant with several leaves and a cluster of small, round buds or flowers, positioned on the left side of the slide against a dark brown background.

LA MODÉLISATION MATHÉMATIQUE DES COMPORTEMENTS COLLECTIFS

Nos choix de modélisation

- Contexte
 - Aléa soudain, à dynamique rapide et ne pouvant faire l'objet d'une alerte préventive (ex. tsunami local)
 - Zone d'impact et de destruction
- 3 types de réactions
 - Comportements instinctifs
 - Comportements de panique
 - Comportements acquis et intelligents
- Les relations entre ces 3 groupes : processus de contagion émotionnelle, de causalité
- Modèle SIR afin de :
 - Représenter les comportements comme un système complexe formé de parties en interactions
 - Analyser l'impact des processus de transition d'un comportement à un autre sur la structure de ce système
 - Appréhender les comportements comme des séquences comportementales

Formalisation des trois méta-comportements en situation de catastrophe

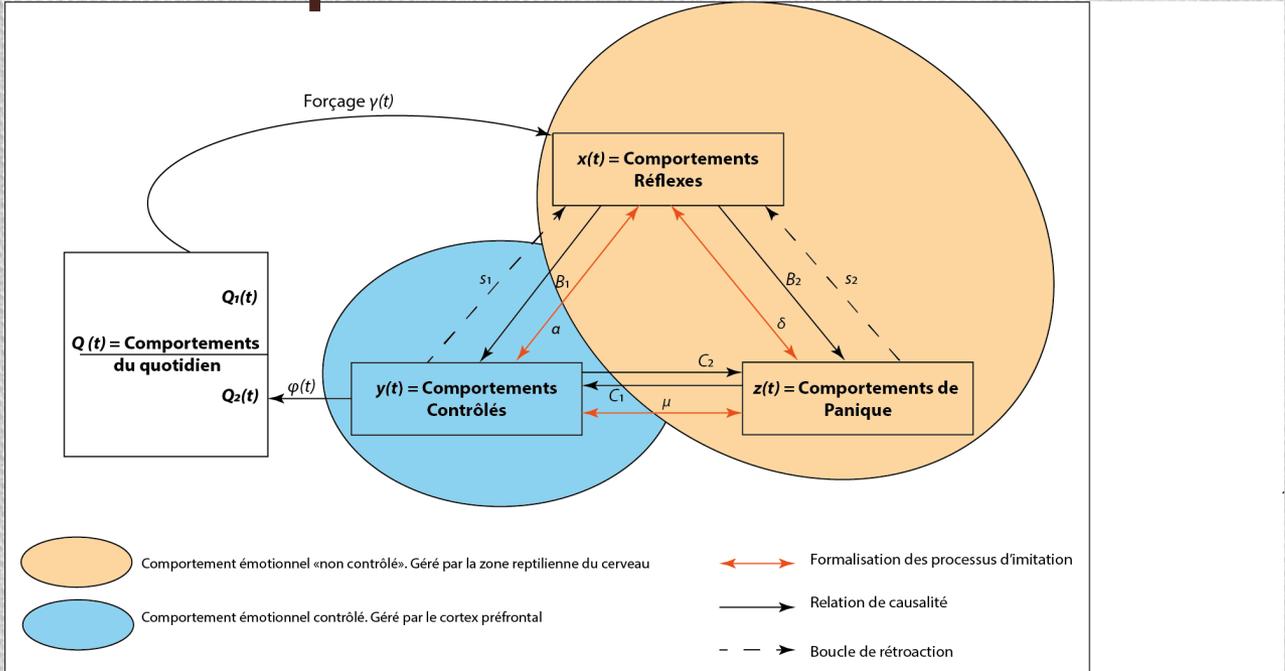
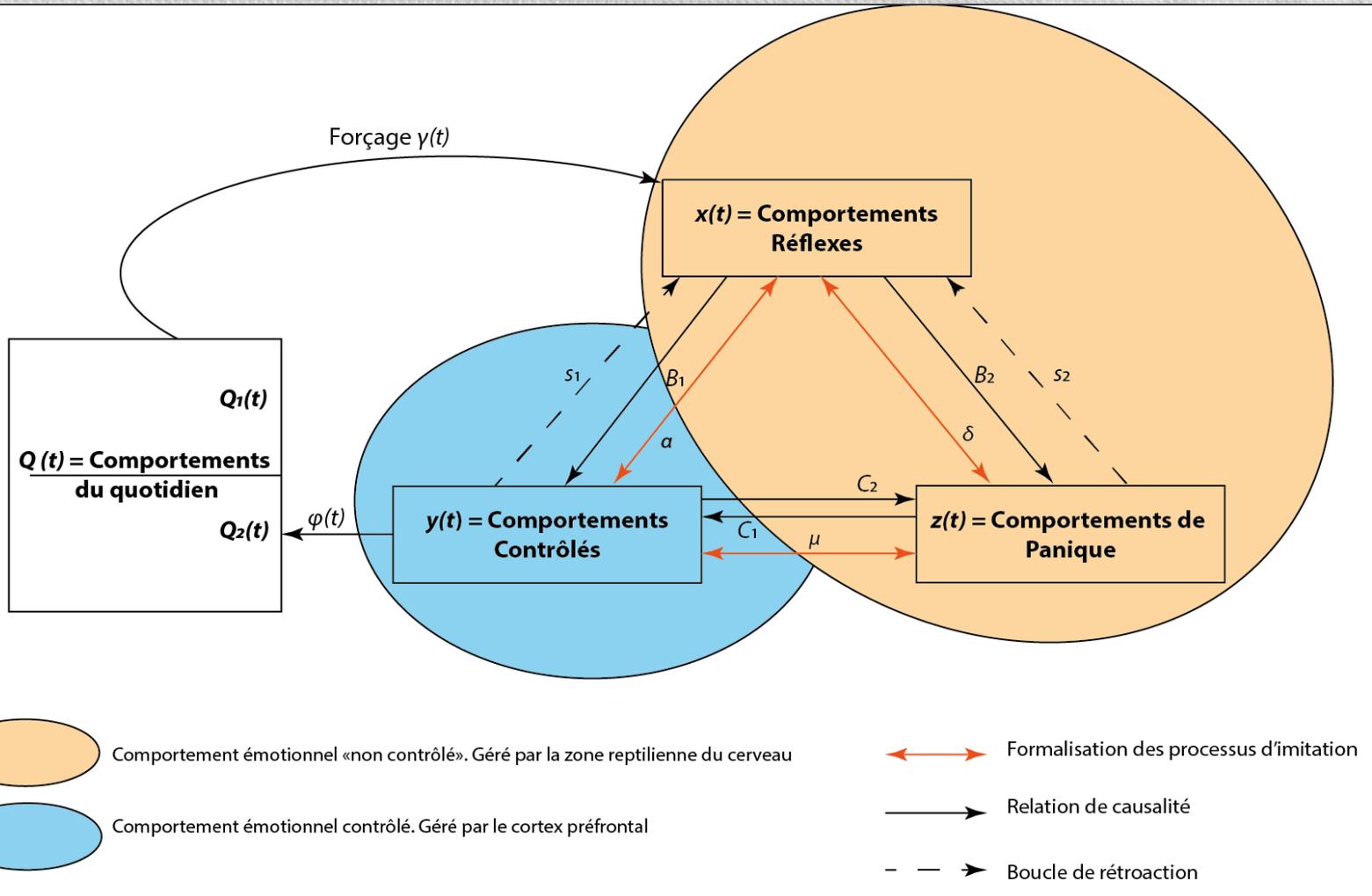


Fig. Formalisation graphique des trois méta-comportements en situation exceptionnelle de catastrophe

$$\begin{cases}
 \frac{dx}{dt} = \gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m}\right) - (B_1 + B_2)x(t) + \alpha f_1(x(t))y(t) + \delta f_2(x(t))z(t) + s_1 y(t) + s_2 z(t), \\
 \frac{dy}{dt} = B_1 x(t) - \alpha f_1(x(t))y(t) + C_1 z(t) - s_1 y(t) - C_2 y(t) - \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{Q_2(t)}{Q_{2m}}\right) + \mu g(y(t)).z(t), \\
 \frac{dz}{dt} = B_2 x(t) - s_2 z(t) - \delta f_2(x(t))z(t) - C_1 z(t) + C_2 y(t) - \mu g(y(t)).z(t), \\
 \frac{dQ_1}{dt} = -\gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m}\right), \\
 \frac{dQ_2}{dt} = \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{Q_2(t)}{Q_{2m}}\right)
 \end{cases} \quad (1)$$

Fig. Formalisation mathématique des trois méta-comportements en situation exceptionnelle de catastrophe

Formalisation des trois méta-comportements en situation de catastrophe



Remarque: les comportements face aux dangers ne se produisent pas tous en même temps, ils apparaissent dans un certain ordre, telles des séquences.

Source: Verdière et al., 2014; Provitolo et al. 2015, à paraître, Cybergéo

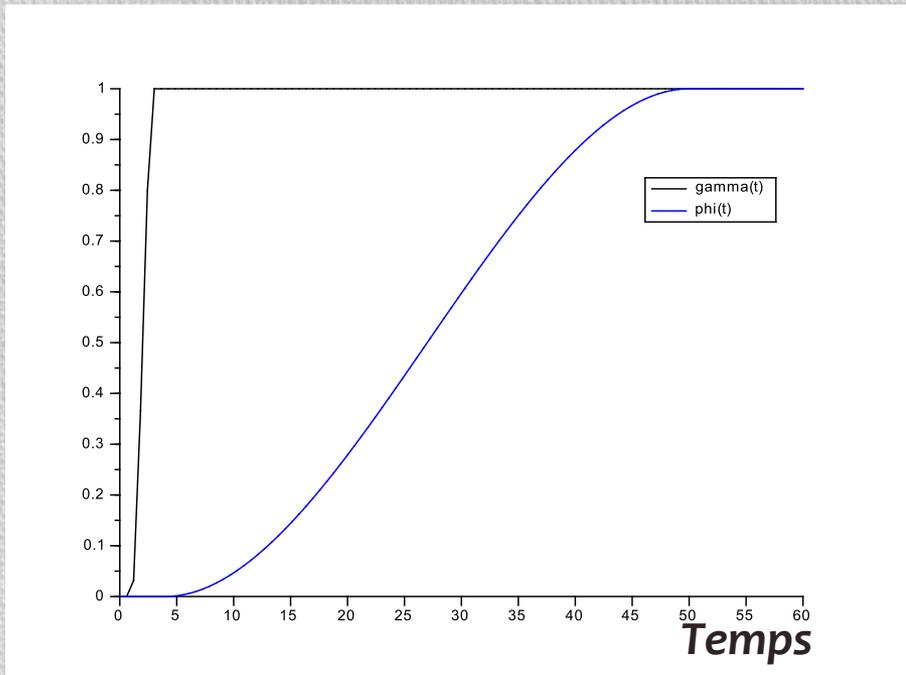
A stylized, light-colored illustration of a plant with several leaves and a cluster of small, round buds or flowers, positioned on the left side of the slide against a dark brown background.

LES SIMULATIONS NUMERIQUES

Le choix des fonctions empiriques

Exemple : Tsunami Local

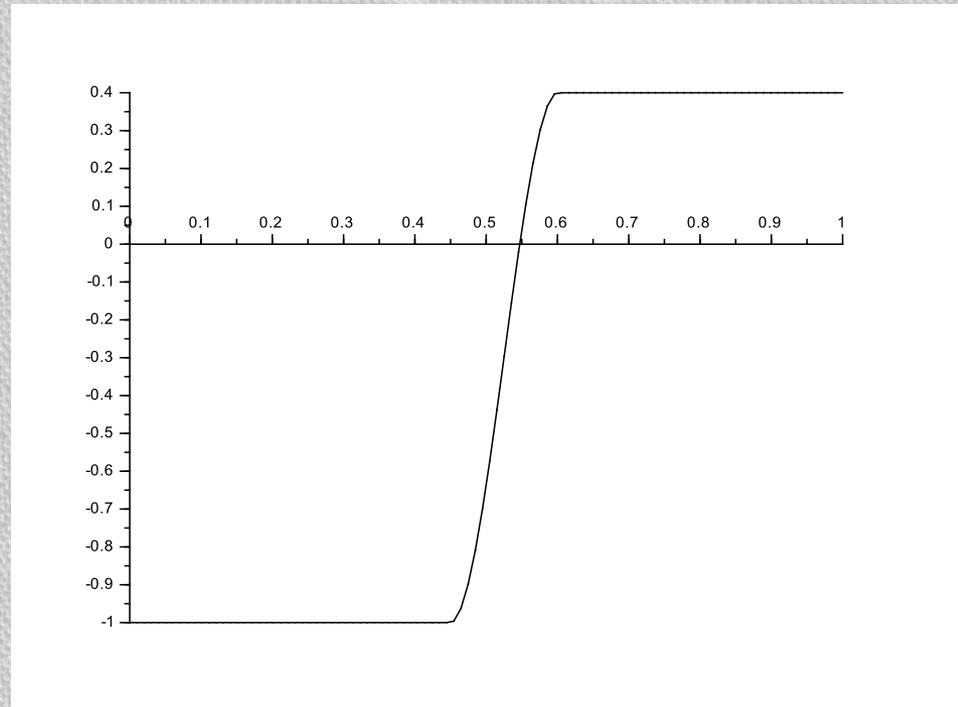
- Les fonctions gamma et phi
- La catastrophe est modélisée par la **fonction Gamma** : nous supposons que la population commence à être informée au bout d'un temps assez bref (ici 1 min) et que toute la population concernée par l'événement est mise au courant assez rapidement (dans les 3 min qui suivent)
- Le retour au comportement quotidien est modélisé par la **fonction phi**: ne peut pas être immédiat (5 min après le choc) et se fera lentement



Remarque: la forme des courbes est à moduler selon le type d'événement (annoncé ou non)

Le choix des fonctions empiriques

- $\propto f_l(x(t))y(t)$:
 - l'imitation entre $x(t)$ et $y(t)$ s'effectue dans les 2 sens
 - il faut au moins 55% de comportements réflexes pour que les raisonnés les imitent
 - favorise l'imitation dans le sens x vers y .



La calibration du modèle

- Dans la littérature, deux groupes de données quantitatives sont disponibles:

- * ***Les pourcentages de population adoptant un certain type de comportement***

$x(t)$ = 50 à 75 % de la population

$y(t)$ = 12 à 25 % de la population

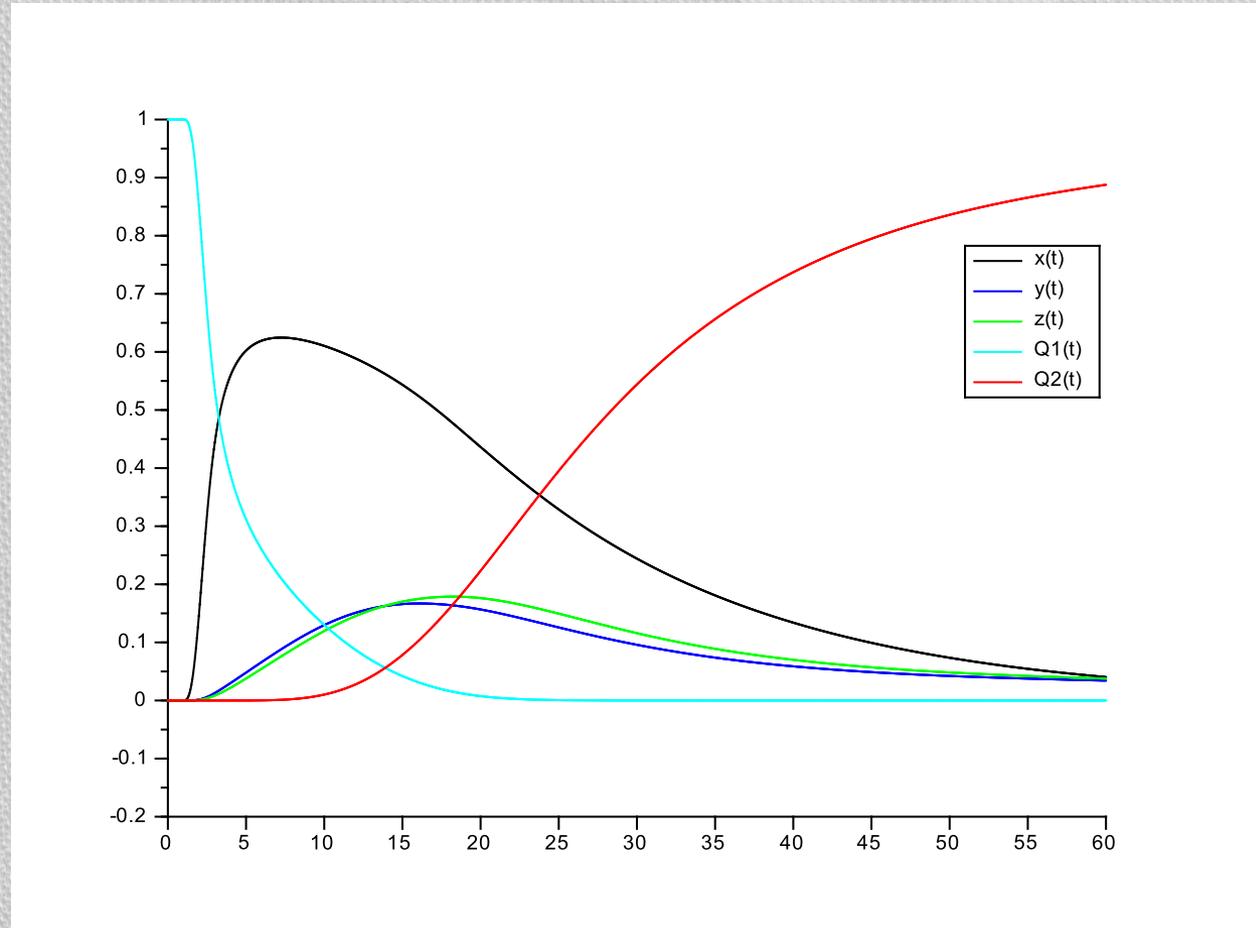
$z(t)$ = 12 à 25 % de la population

- * ***La durée des comportements***

- La durée du comportement réflexe ($x(t)$ et $z(t)$) varie de quelques minutes à 1 heure.
- La durée des comportements émotionnels non contrôlés $x(t) + z(t)$ ne dure pas plus d'1h30 en général.
- La durée du comportement contrôlé $y(t)$ varie de quelques minutes à plusieurs heures, selon la reprise des rôles et des missions par les acteurs institutionnels.

Des tests numériques pour tester la robustesse du modèle

Application 1: $x_m = 0.75$, $Q_{2m} = 1$, $B1 = 0.04$, $B2 = 0.02$,
 $s1 = s2 = 0.01$, $C1 = C2 = 0.5$,
 $\alpha = \delta = \mu = 0.01$.



Retrouver les données de calibration :

- % global de comportements réflexes : $x(t) = 61,41\%$
- % global de comportements de panique panic : $z(t) = 18,42\%$
- % global de comportements raisonnés $y(t) = 20,17\%$
- durée des comportements: moins d'1 heure

Application 2: Forcer l'émergence de comportements de panique ou contrôlés en agissant sur les paramètres B_1 , B_2 , C_1 et C_2

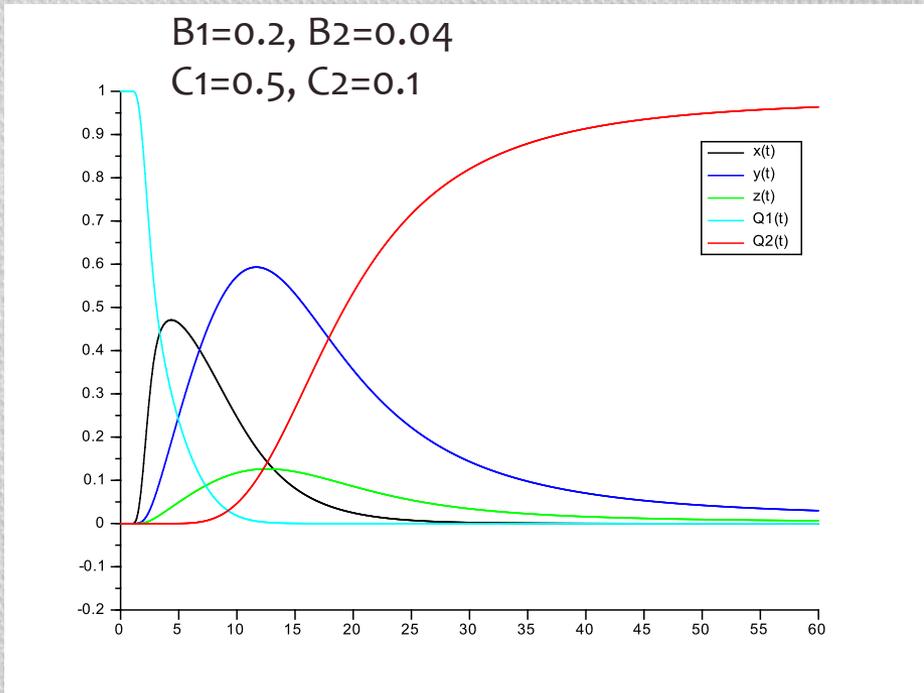


Figure 2. Une société où la culture du risque est prégnante : les comportements réflexes, de durée brève, laissent place à des comportements réfléchis

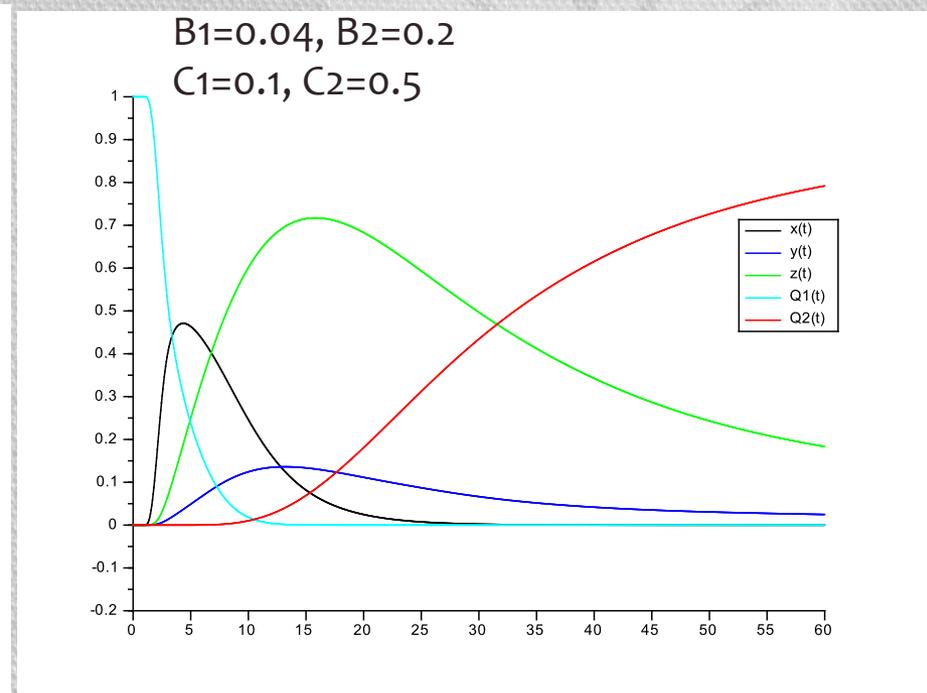


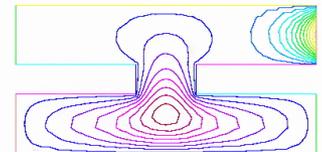
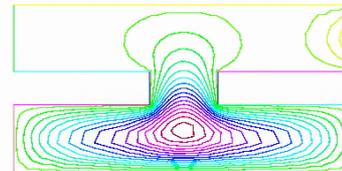
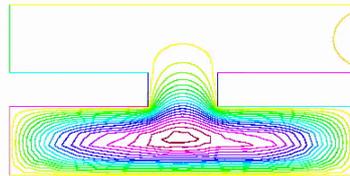
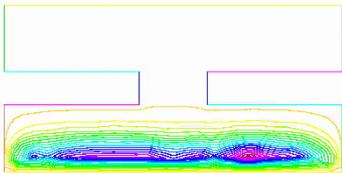
Figure 3. Une société peu préparée au risque: majorité de comportements réflexes et paniqués

Conclusion et perspectives

- Les comportements constituent un levier permettant d'agir sur la vulnérabilité et la résilience des sociétés et des territoires.
- Typologie: permet d'organiser la connaissance mais reste statique
- Intérêt de la modélisation mathématique:
 - mieux comprendre et prévoir la production de comportements qui se propagent à l'ensemble d'une foule à partir de réactions individuelles et des processus d'interactions et d'imitation entre les individus.
 - Cette capacité de compréhension et de prévision des réactions humaines collectives constitue une avancée appréciable pour la gestion des crises et plus spécifiquement pour la sauvegarde des populations civiles.

Perspectives

- Intégrer la diversité des réactions humaines dans le modèle mathématique afin d'obtenir le panel de comportements identifiés dans la typologie
- Prendre en compte des effets de dominos, c'est à dire intégrer un nouvel événement à l'intérieur de la catastrophe
- Prendre en compte les contraintes géographiques afin d'étudier l'effet de l'espace sur les comportements humains



Source: G. Cantin, 2015, Mémoire de recherche,
Univ Havre



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m}\right) - (B_1 + B_2)x(t) + f_1(x(t), y(t))x(t)y(t) + f_2(x(t), z(t))x(t)z(t) \\ \quad + s_1y(t) + s_2z(t), \\ \\ \frac{dy}{dt} = B_1x(t) - f_1(x(t), y(t))x(t)y(t) + C_1z(t) - s_1y(t) - C_2y(t) \\ \quad - \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{Q_2(t)}{Q_{2m}}\right) + g(y(t), z(t))y(t)z(t), \\ \\ \frac{dz}{dt} = B_2x(t) - s_2z(t) - f_2(x(t), z(t))x(t)z(t) - C_1z(t) + C_2y(t) - g(y(t), z(t))y(t)z(t), \\ \\ \frac{dQ_1}{dt} = -\gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m}\right), \\ \\ \frac{dQ_2}{dt} = \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{Q_2(t)}{Q_{2m}}\right) \end{array} \right.$$