

# Maximiser la Survie



Coordination des interdépendances  
entre infrastructures essentielles pour  
maximiser les possibilités de survie à  
une catastrophe

(PCRII-Équipe de l'UBC)

# PCRII-Équipe de l'UBC

---

- ❑ Kostantin Beznosov, Génie électrique et informatique, Transmission de données et sécurité
- ❑ Kelly Booth, Informatique, Virtualisation de scénarios de salle de contrôle
- ❑ Juri Jatskevich, Génie électrique et informatique, Conception de réseaux électriques
- ❑ Jeff Joyce, Génie électrique et informatique, Techniques officielles reposant sur des scénarios
- ❑ Brian Klinkenberg, Géographie, Systèmes de schémas conceptuels et d'information géographique
- ❑ Philippe Kruchten, Génie électrique et informatique, Processus de développement de logiciels
- ❑ José Martí, Génie électrique et informatique, Simulation de grands systèmes
- ❑ Tamara Munzner, Informatique, Visualisation de réseaux complexes
- ❑ Gary Poole, Soins de santé et épidémiologie, psychologue, Éducation et principes organisationnels
- ❑ Rachel Pottinger, Informatique, Compatibilité des bases de données
- ❑ Richard Rosenberg, Informatique, Ordinateurs, éducation et société
- ❑ K.D. Srivastava, Génie électrique et informatique, Surveillance des biens
- ❑ Carlos Ventura, Génie civil, Tremblements de terre
- ❑ Carson Woo, Sauder School of Business, Reprise des activités

# Partenaires du PCRII-UBC

---

- ❑ Société de transport d'électricité de la Colombie-Britannique
- ❑ BC Hydro
- ❑ Société Telus
- ❑ District de la Région métropolitaine de Vancouver
- ❑ Administration de l'aéroport international de Vancouver



---

La grande priorité en cas de catastrophe est, et doit être, la survie des personnes.

(J.R. Marti, KD Srivastava, J. Jatskevich et J. Hollman)

# Énoncé du problème



# Coordination des interdépendances

---

1. Actuellement, chaque infrastructure sait très bien quoi faire si un problème se produit dans son système : comment réaménager ses activités pendant les réparations
2. Les analyses du risque et de la fiabilité sont faites en interne pour chaque infrastructure, mais elles ne tiennent pas compte de l'effet dynamique combiné avec les autres infrastructures
3. Lorsque de grandes catastrophes surviennent, plusieurs infrastructures sont endommagées simultanément. La coordination de leurs interdépendances devient essentielle à leur réparation réussie, « sans se nuire les unes les autres »

# Les points sur lesquels nous nous concentrons

---

1. Intégrer les liens de dépendance à la solution du problème
2. Faciliter la coordination des décisions entre les gestionnaires des infrastructures durant de grandes catastrophes
3. Renforcer les liens d'interdépendance pour concevoir des systèmes d'infrastructures globales plus résilients

# Caractéristiques du problème

---

1. Les détails internes concernant chaque infrastructure sont connus uniquement de cette infrastructure
2. La connaissance des détails internes sur chaque système serait peu utile aux autres systèmes
3. Ce qui doit être connu de tous, c'est le sous-système des interdépendances
4. La solution du sous-système des interdépendances revient aux systèmes individuels, qui prendront ensuite les mesures internes les plus appropriées compte tenu de l'effet que ces mesures auront sur le système global

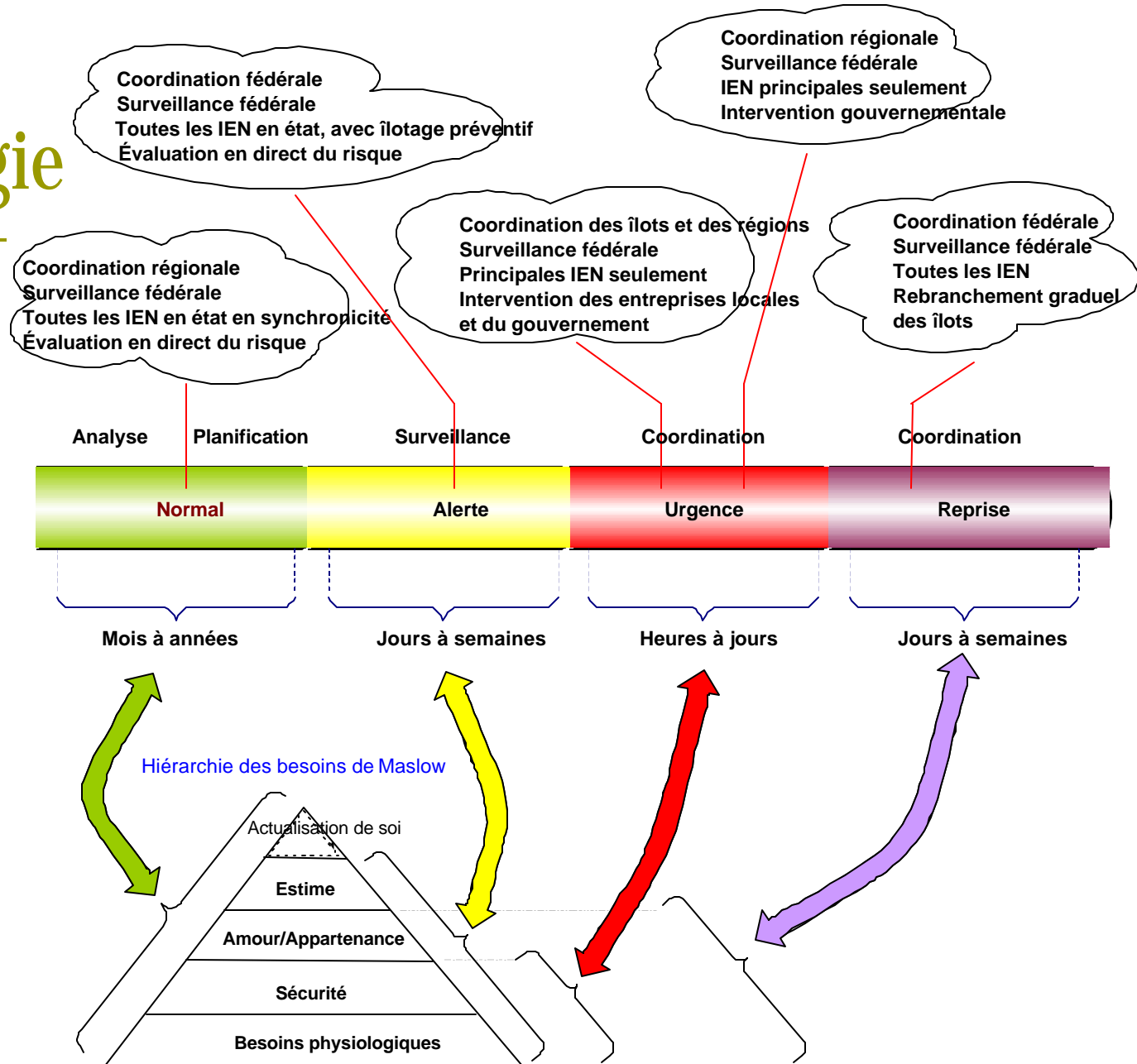


# Chronologie d'une catastrophe

---

1. **Longtemps avant la catastrophe (planification)** : conception de systèmes plus résistants et planification stratégique
2. **Peu avant la catastrophe (surveillance)** : indices de l'approche d'une catastrophe naturelle ou engendrée par l'humain
3. **Au cours de la catastrophe (coordination)** : les événements qui se déroulent en temps réel
4. **Peu après la catastrophe (coordination)** : rétablissement des infrastructures et reprise des activités
5. **Longtemps après la catastrophe (analyse)** : période d'analyse, avant le retour à l'étape 1

# Chronologie



# Eléments de survie essentiels

---

- ❖ Eau potable
- ❖ Aliments (convenant aux situations d'urgence)
- ❖ Abri immédiat (air respirable, vêtements, température et hébergement)
- ❖ Contrôle de la panique (espoir, leaders politiques et religieux, psychologues et médias)
- ❖ Communications personnelles (localisation des êtres chers)
- ❖ Préparatifs individuels (sensibilisation)
- ❖ Assainissement (écoulement des eaux usées)
- ❖ Soins médicaux (médicaments, médecins et personnel infirmier)
- ❖ Bon ordre social (pompiers, police et armée)

# Mise en place des éléments de survie

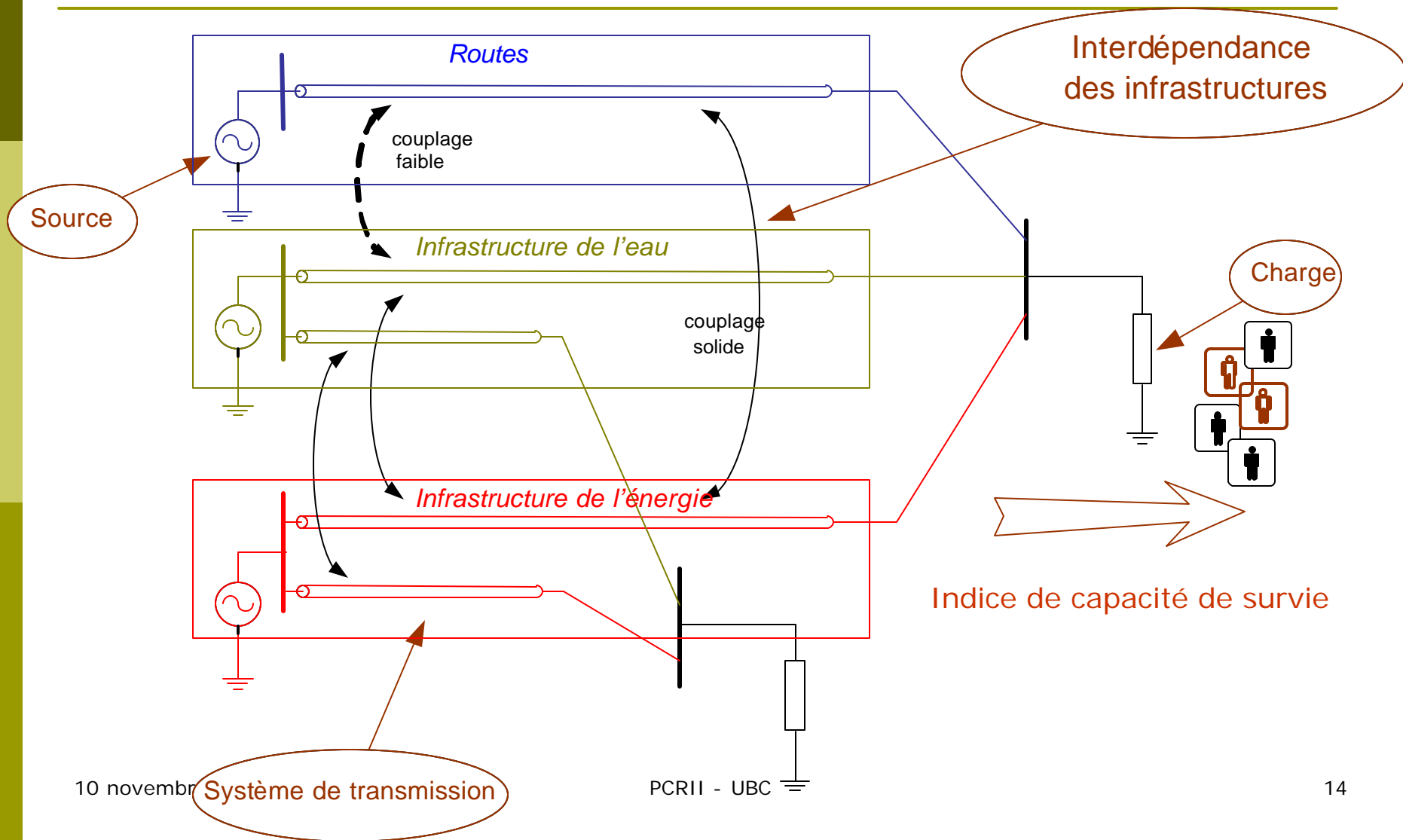


# Réseaux de transport

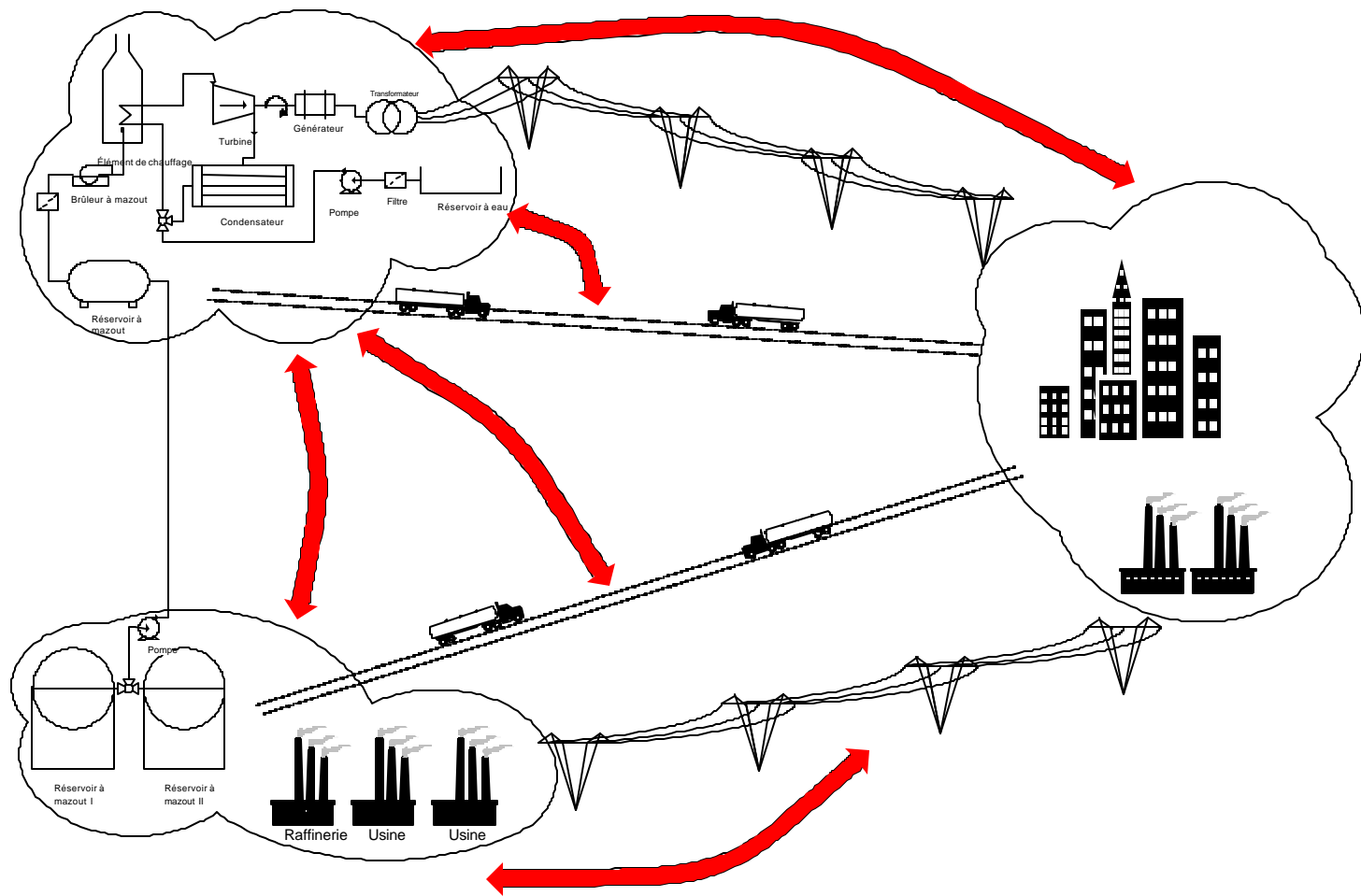
---

- ❑ Le besoins propres à assurer la survie (éléments) sont fournis par la source (dépôts) aux victimes et aux premiers intervenants
- ❑ Le réseau de survie est un système multi-éléments concernant plusieurs infrastructures interdépendantes

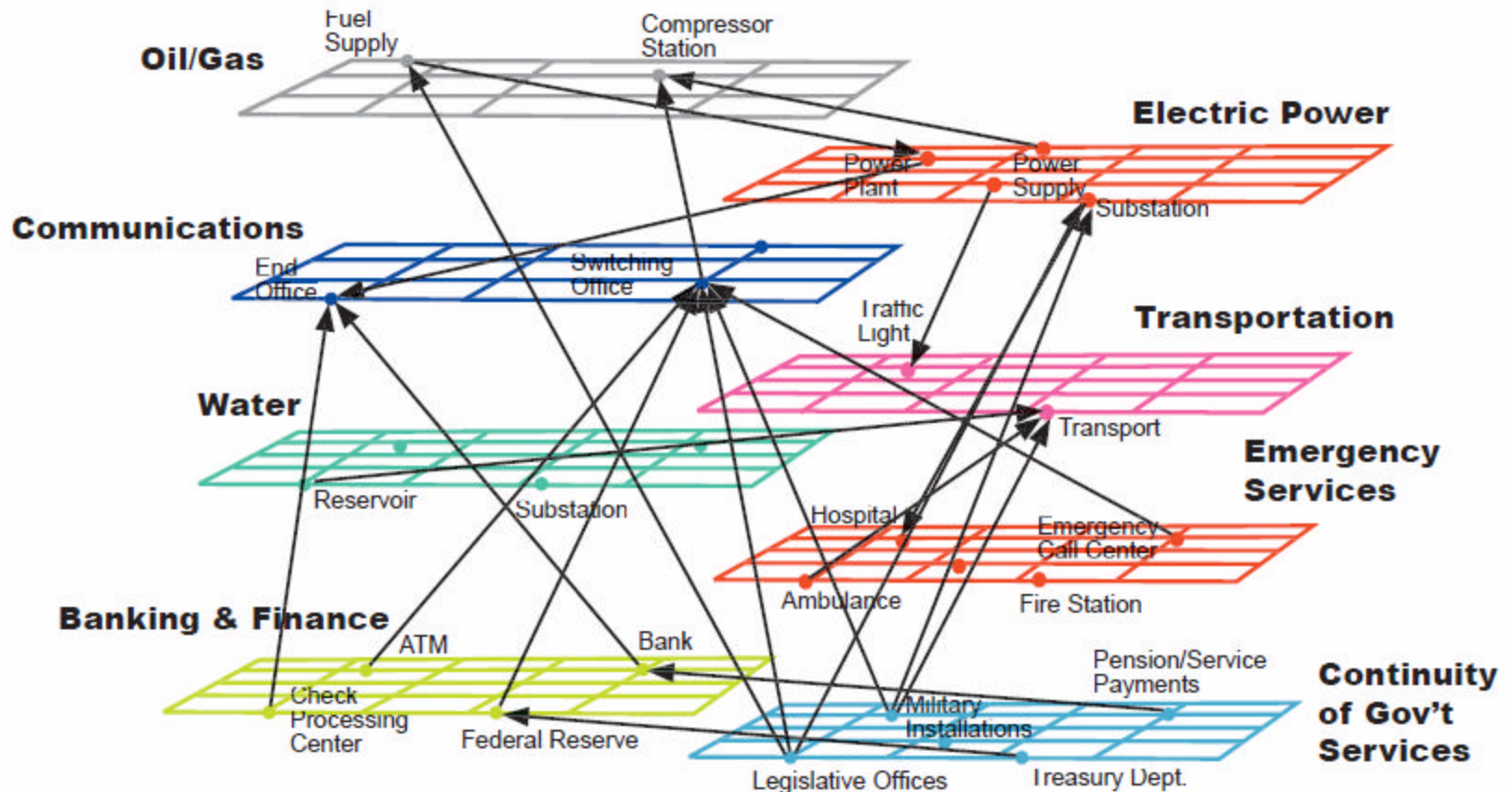
# Modèle de système de transmission



# Liens d'interdépendance



# Liens d'interdépendance (1)



(1) Col. W. Wimbish, Maj J. Sterling, Center for Strategic Leadership, U.S. Army War College, Vol. 06-03, août 2003



# Nature des éléments fournis

---

## Physique

- Électricité, aliments, eau et médicaments

## Professionnel

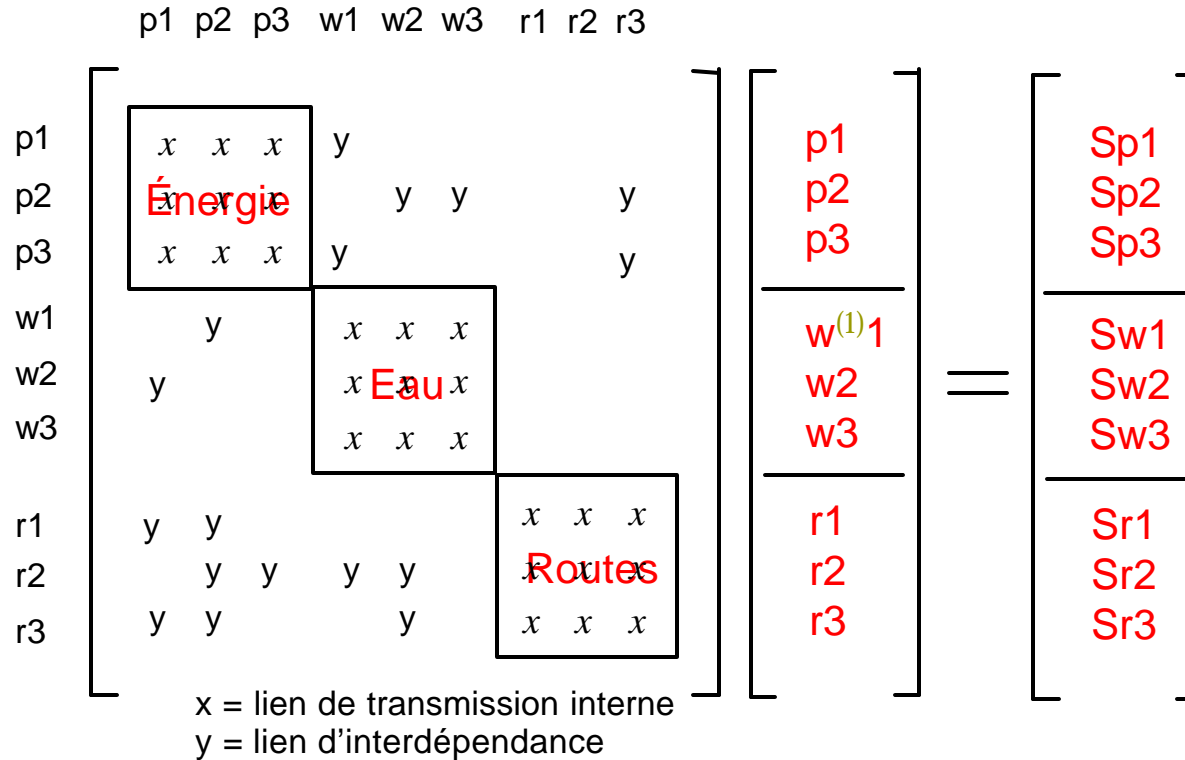
- Information, éducation, personnel infirmier, médecins, pompiers et police

# Nature des réseaux de transport

---

- ❑ Niveau physique (p. ex., câbles électriques et tuyaux)
- ❑ Niveau des décisions humaines (p. ex., opérateurs, gestionnaires et leaders)
- ❑ Les niveaux physiques et humains occasionnent **des retards et des distorsions** dans la prestation
- ❑ Le niveau des décisions humaines est particulièrement importante aux points d'interdépendance des infrastructures

# Matrice de transport



p1 = nœud 1 de la valeur du gage  
 p2 = nœud 2 de la valeur du gage  
 ...  
 w1 = nœud 1 de la valeur du gage  
 ...

Sp1 = nœud 1 de la valeur de la source d'énergie  
 Sp2 = nœud 2 de la valeur de la source d'énergie  
 ...  
 Sw1 = nœud 1 de la valeur de la source d'eau  
 ...

# Matrice de transport

---

- Si le système d'électricité était autonome, nous n'aurions que la case « énergie » concernant l'énergie disponible à la charge ( $p_1$ ,  $p_2$  et  $p_3$ ) en ce qui a trait à l'électricité produite ( $Sp_1$ ,  $Sp_2$  et  $Sp_3$ )
- La même chose vaudrait pour les infrastructures « eau » et « routes » dans l'exemple, et la matrice globale de transport n'aurait que des blocs en diagonale
- Cependant, les pompes à eau ont besoin d'électricité, les génératrices au diesel de carburant, etc. et les cases doivent être raccordées par les éléments « y » à l'extérieur de la diagonale (interdépendances) dans la matrice globale

# Formule mathématique

---

Pour les systèmes linéaires, le problème de l'actualisation des gages peut être exprimé de la façon suivante

$$\mathbf{TX} = \mathbf{W}$$

où  $T$  = la matrice du transport;  $X$  = les biens reçus;  $W$  = les biens envoyés

# Nature des liens d'interdépendance

---

- ❑ Nous ne pouvons pas transporter l'eau par les câbles électriques
- ❑ Nous ne pouvons pas transporter l'électricité dans le système d'aqueduc
- ❑ Il existe des liens d'interdépendance entre une quantité d'une nature et une quantité d'une autre nature
- ❑ Par exemple, une alimentation électrique faible peut réduire la capacité des pompes à carburant; le manque de carburant dans une usine thermoélectrique peut réduire la capacité de production d'électricité
- ❑ Souvent le lien d'interdépendance peut être la personne qui prend une décision, p. ex., dépêcher une équipe pour réparer une pompe

# Modélisation des liens d'interdépendance

---

- Dans la théorie des circuits, nous pouvons avoir :
  - des sources dépendantes, p. ex.,  $Sw2 = f(p2)$
  - des fonctions de contrôle, p. ex., route2 accessible, si l'on prend la décision de dépêcher une équipe de réparateurs
- Des cases de sources dépendantes et de contrôle (décision) peuvent être facilement ajoutées à la matrice de transmission

# Analyse de la sensibilité

---

La méthode bien connue de la sensibilité des réseaux peut être directement appliquée à la matrice du transport

$$\mathbf{T}\mathbf{X} = \mathbf{W}$$

$$\frac{\partial \mathbf{X}}{\partial h} = -\mathbf{T}^{-1} \left( \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial h} \mathbf{X} - \frac{\partial \mathbf{W}}{\partial h} \right)$$

où  $h$  est un certain paramètre dans  $\mathbf{T}$  ou dans  $\mathbf{W}$



# Matrice des états

---

- La dynamique du système peut s'exprimer sous la forme d'espaces des états :

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{A} \mathbf{X}(t) + \mathbf{B} \mathbf{U}(t)$$

où la matrice d'état  $\mathbf{A}$  représente la dynamique du système et la matrice  $\mathbf{B}$  représente l'état des transitions imposées par les événements déclencheurs

- Les matrices  $\mathbf{A}$  et  $\mathbf{B}$  peuvent être directement obtenues de la matrice du transport du système :

$$\mathbf{TX} = \mathbf{W}$$

# Tendances dans les matrices $T$ et $A$

---

- Force diagonale
- Tendances de rareté
- Interventions à court et à long terme
- Détermination des regroupements

# Stratégies



## Îlotage pour la survie

# Le concept d'îlotage

---

- ❑ Le contrôle des réactions de panique et la prévention des effets de cascade exigent une intervention immédiate
- ❑ À cette fin, il faut que les éléments essentiels soient disponibles sur place lorsque la catastrophe survient
- ❑ Un îlot peut survivre de façon autonome un certain temps, au-delà duquel il faut que l'aide soit coordonnée et soit donnée à partir de l'extérieur
- ❑ Dans les réseaux électriques, l'îlotage est une stratégie efficace bien connue pour segmenter le réseau et empêcher les effets en cascade (pannes généralisées)

# Indice de la capacité de survie du système (ICSS)

---

- *Période de survie d'un îlot  $S_k(t)$*  : combien de temps l'îlot k peut-il survivre avant que ses liens avec l'extérieur ne soient rétablis
- *Délai de rétablissement des liens  $I_{ki}(t)$*  : temps nécessaire au rétablissement du lien i dans l'îlot k
- $S_k(t) = f\{I_{ki}(t)\}$
- $I_{ki}(t) = f\{I_{ki}(t)\}$  pour tous les k? i}
- *Indice de la capacité de survie du système (ICSS)* : indice composite reflétant la force de l'ensemble du système

# Scénario de catastrophe gérée en salle de commandement



# Coordination des interdépendances

---

- ❑ Durant des situations d'urgence de grande ampleur, les gestionnaires des infrastructures se regroupent dans une « salle de coordination de la gestion de la catastrophe » réelle ou virtuelle
- ❑ Le système d'information géographique mondial permet de visualiser les « principales caractéristiques » pour coordonner efficacement les interventions interdépendantes
- ❑ Comme le déroulement est plus rapide qu'en temps réel, le simulateur permet la mise à l'essai des interventions interdépendantes avant de les appliquer à des systèmes réels

# Simulateur des interdépendances



Simulateur de nœuds distribués  
(SIMND)



# Points à examiner

---

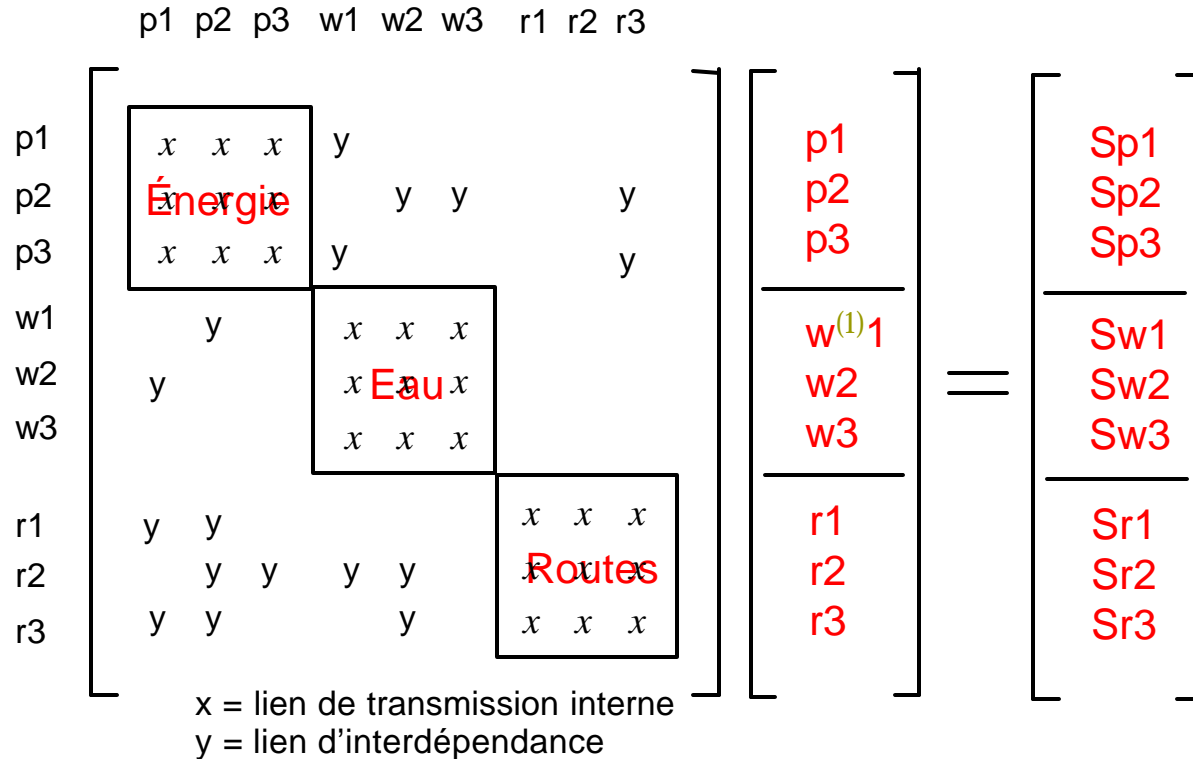
- ❑ Nous nous intéressons au système du point de vue des liens d'interdépendance
- ❑ Nous voulons optimiser le système d'interdépendances (sous-système de liens) et non la conception interne de chacune des infrastructures
- ❑ Le simulateur permet d'examiner chaque infrastructure du point de vue des liens d'interdépendance
- ❑ La simulation des détails internes de chaque infrastructure, abstraction faite des liens d'interdépendance, doit être effectuée par les opérateurs internes de chacune

# Définition du concept du SIMND

---

- ❑ La coordination des nœuds centraux optimisera les interventions du point de vue des interdépendances
- ❑ Les éléments des nœuds centraux n'ont pas besoin de connaître les détails internes à l'origine de l'information provenant des nœuds éloignés (concept du masquage de l'information)
- ❑ Le découpage de la solution permet la présence de nombreux nœuds de traitement et un processus décisionnel hiérarchique
- ❑ Une méthode de nœuds centraux multiples accroît la résilience globale du système
- ❑ La topologie du système peut changer au cours du schéma chronologique de la solution selon les événements sur le terrain sans qu'il faille tout recommencer
- ❑ Il faut trouver des solutions quasi optimales plus rapidement qu'en temps réel

# Schéma conceptuel de la matrice des infrastructures et stratégie de capacité de survie



p1 = nœud 1 de la valeur du gage  
 p2 = nœud 2 de la valeur du gage

...  
 w1 = nœud 1 de la valeur du gage

...

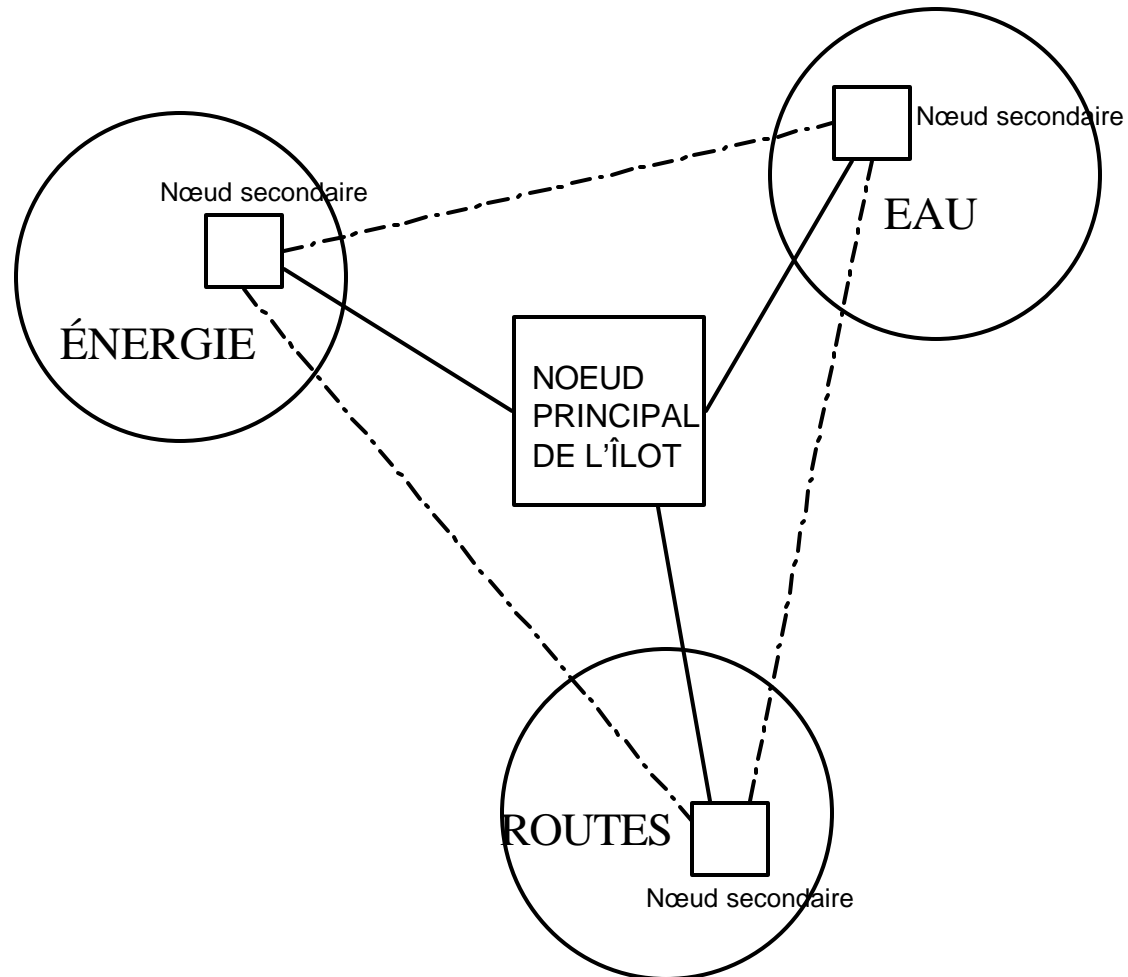
Sp1 = nœud 1 de la valeur de la source d'énergie  
 Sp2 = nœud 2 de la valeur de la source d'énergie

...  
 Sw1 = nœud 1 de la valeur de la source d'eau

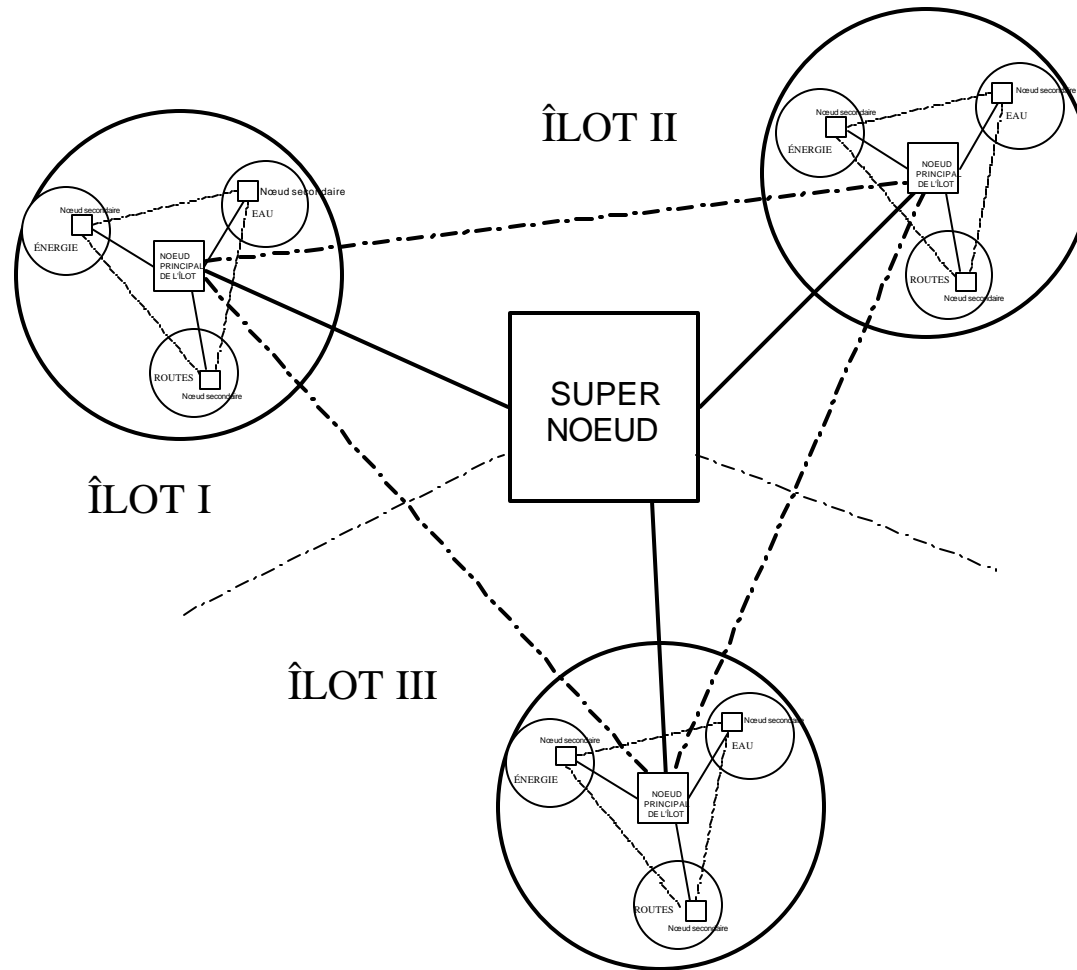
...

# Solution du SIMND (pour chaque îlot)

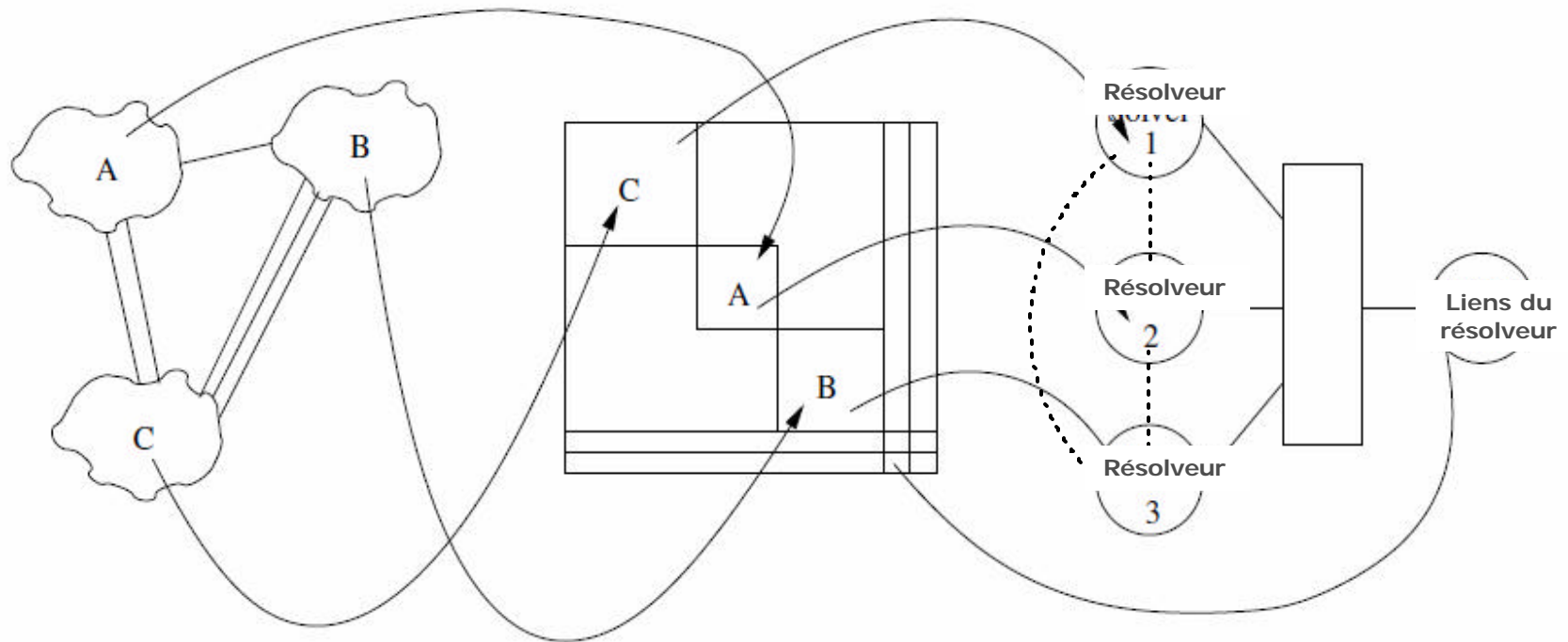
---



# Capacité d'absorption de la solution hiérarchique



# Schéma conceptuel des paliers physiques, algorithmiques et calculatoires



# Résumé

---

- ❑ Les infrastructures et leurs interdépendances peuvent être modélisées comme des systèmes de transport pour l'actualisation des éléments essentiels à la survie des personnes
- ❑ Il est possible d'incorporer dans la matrice de transmission des infrastructures et dans les matrices d'état correspondantes, toute l'information nécessaire à l'évaluation de l'indice de la capacité de survie du système, pour coordonner de façon dynamique les interventions visant la survie à la catastrophe et pour évaluer combien la conception du système le rend résilient
- ❑ Le concept d'ilotage peut se révéler très efficace au cours des premiers moments d'une catastrophe pour éviter l'état de panique et les événements en cascade et pour accroître l'indice de la capacité de survie du système
- ❑ Le simulateur de nœuds distribués permet d'animer concept des sous-systèmes des infrastructures individuelles interconnectés par les liens d'interdépendance