

**La vulnérabilité des systèmes  
d'élevage, selon leur trajectoire une  
façon de comprendre les choix des  
éleveurs face aux perturbations –  
Définition d'une stratégie de recherche**

## **Chapitre 2 – La vulnérabilité des systèmes d'élevage, selon leur trajectoire : une façon de comprendre les choix des éleveurs face aux perturbations – Définition d'une stratégie de recherche.**

La ferme (et donc, l'exploitation d'élevage) est le niveau d'organisation et de la gestion principale où les décisions, les choix stratégiques et les actions techniques sont effectuées (Van Cauwenbergh *et al.*, 2007). Les chercheurs utilisent différents concepts pour analyser les propriétés des systèmes en situation de changement : la résilience (Darnhofer, 2010 ; Dedieu & Ingrand, 2010 ; Folke, 2006 ; Holling, 2001), la flexibilité (Astigarraga & Ingrand, 2011 ; Darnhofer *et al.*, 2010 ; Moulin *et al.*, 2008 ; Nozières *et al.*, 2011), et la vulnérabilité (Adger, 2006 ; Alary *et al.*, 2011 ; Gallopin, 2006 ; Smit & Wandel, 2006 ; ten Napel *et al.*, 2011). En général, la capacité d'adaptation est considérée comme favorisant une certaine stabilité du système (structurelle, de fonctionnalité, entre autres) face à des changements et des perturbations (Sauvant & Martin, 2010).

Il existe des problèmes spécifiques que les agriculteurs familiaux ont à résoudre, s'ils développent leur système de production à partir de zéro (*ex nihilo*), comme c'est le cas de la plupart des *assentados* de la réforme agraire au Brésil. Ils doivent aussi faire face aux mêmes événements imprévisibles que les agriculteurs établis depuis plus longtemps, tels que des fluctuations climatiques interannuelles, les fluctuations du prix du lait et des intrants. Mais ils ont à faire face aussi au manque de compétences en agriculture des responsables de l'exploitation (qui sont souvent des « débutants » avec peu de formation spécifique), et au défi de la mise en cohérence des différentes composantes du système productif, relevant aussi bien du travail et de la main-d'œuvre, des dispositifs techniques et financiers, et qui sont souvent à construire de toutes pièces. Dans de telles conditions, je fais l'hypothèse que ces systèmes récents sont plus vulnérables que les plus anciens.

Je considère dans ma thèse que l'analyse des trajectoires de ces systèmes en construction permet de comprendre comment et quand au cours de leur développement les agriculteurs font des choix dans les chemins suivis par le système au fil du temps (Ryschawy *et al.*, 2012 ; Cialdella *et al.*, 2009). Ainsi, je propose d'associer les deux notions de trajectoires et de vulnérabilité pour traiter de

la capacité d'adaptation des systèmes d'élevage (Magnan *et al.*, 2012). Je fais l'hypothèse que la combinaison des deux peut être utile pour évaluer les processus dynamiques en jeu dans les systèmes d'élevage, en particulier dans le cas des nouveaux systèmes, pour lesquels la trajectoire doit être « pensée sans expérience antérieure » dans des conditions difficiles.

L'objectif de ce chapitre est double : (i) présenter le cadre théorique d'analyse des trajectoires des systèmes d'élevage du point de vue de leur vulnérabilité ; (ii) présenter la façon dont je mobilise ce cadre à l'aide d'indicateurs pour évaluer la vulnérabilité de systèmes d'élevage en cours de construction, dans un contexte d'agriculture familiale.

## **2.1 – Principes et applications de la notion de trajectoire pour comprendre la logique du changement**

L'analyse des trajectoires consiste à reconstituer l'histoire et la logique de l'évolution des systèmes de production et de leurs relations avec un marché organisé (Hostiou *et al.*, 2006). L'analyse de l'évolution de l'exploitation doit inclure à la fois les facteurs individuels, liés à des caractéristiques spécifiques de la ferme, et les facteurs collectifs, liés à l'environnement socio-économique, lequel varie au fil du temps (García-Martínez *et al.*, 2009). Les trajectoires de développement sont le résultat de choix faits par les agriculteurs dans leurs systèmes de production, qui tiennent compte de la situation socio-économique, les conditions environnementales, culturelles, les opportunités, les projets personnels et collectifs de la famille.




Les trajectoires ont été utilisées pour caractériser l'évolution dans les systèmes famille – propriété (Moulin *et al.*, 2008 ; Rueff *et al.*, 2012); les questions socio-historiques (Lamine, 2011) ; la typification quantitative (Iraizoz *et al.*, 2007) ; la dynamique de fermes (García-Martínez *et al.*, 2009 ; Magnani, 2010 ; Ryschawy *et al.*, 2012) ; le processus de l'évolution des pratiques (Bernard, 2010 ; Chantre *et al.*, 2010) ; la gestion (Oiry *et al.*, 2010 ; Langley, 1999) ; le mouvement de modèles stratégiques pour des chemins (Cialdella *et al.*, 2009) ; et le processus de changement stratégique et de changements dans l'utilisation des terres (Madelrieux *et al.*, 2002).

Ryschawy *et al.* (2012) ont analysé la diversité des trajectoires agricoles entre 1950 et 2005 dans les Coteaux de Gascogne (sud-ouest français), avec l'objectif d'identifier la diversité des parcours qui ont permis la survie des systèmes de polyculture-élevage et les forces motrices de cette survie. Dans l'étude de Rueff (2012), l'analyse des trajectoires a permis d'améliorer la compréhension de la dynamique des systèmes de culture sur un territoire et sur une période à long terme couvrant plusieurs générations. Bernard (2010) a cherché à comprendre en profondeur les stratégies et les pratiques des agriculteurs et leur impact sur la performance de l'exploitation. Chantre *et al.* (2010) ont mobilisé la notion de trajectoire pour identifier les moyens de soutenir les changements dans les pratiques agricoles dans un contexte d'injonction politique de réduction de l'utilisation des pesticides. Suite à l'analyse des trajectoires, Cialdella *et al.* (2009) ont souligné la difficulté de considérer la production de bétail sans l'aide d'autres sources de revenus et financement, et l'importance de la main-d'œuvre pour l'avenir des systèmes agricoles alpins. Madelrieux *et al.* (2002) ont reconstruit et ont représenté un processus de changement stratégique lié à la résolution des problèmes du travail et les changements identifiés dans l'utilisation des terres dans ces processus.

Moulin *et al.* (2008) proposent une méthode dont le but est de construire une chronique des exploitations d'élevage basée sur les mots et la mémoire de l'agriculteur. Cette chronique représente la succession de périodes considérées comme relevant d'une certaine cohérence, séparées par des périodes de changements. Il s'agit alors d'identifier les invariants, qui sont les éléments sur lesquels l'éleveur se repose pour procéder aux changements. Les périodes identifiées comme cohérentes sont considérées comme des phases relativement stables dans la trajectoire, où les objectifs de l'agriculteur et l'organisation des activités restent, dans une certaine mesure, inchangées. Cela permet aussi de distinguer des changements de moindre ampleur, progressifs, par opposition à des changements exceptionnels et profonds, qui permettent d'identifier le passage d'une période à une autre. Moulin *et al.* (2008) soulignent aussi l'intérêt de cette méthode pour comparer plusieurs fermes entre elles en termes de trajectoires, et constatent une coévolution entre les pratiques des éleveurs et l'environnement de leur élevage.

La précision, la généralité et la simplicité sont les trois critères proposés par Langley (1999) pour comparer différentes méthodes d'analyse des trajectoires (Tableau 2.1). Certaines méthodes sont basées sur des données quantitatives, tandis que d'autres reposent sur une plus grande abstraction. La simplicité est relative au nombre d'éléments et / ou de relations inscrites dans la génération d'une explication des trajectoires observées. Les théories simples avec un bon pouvoir explicatif peuvent effectivement être préférées aux théories complexes qui expliquent peut-être un peu trop.

Tableau 2.1 – Comparaison de 7 méthodes d'analyse de trajectoires en termes de précision, de simplicité et de généralité.

| Méthode                   | Précision  | Simplicité   | Généralité   |
|---------------------------|--|--|--|
|                           | Haut   | Bas  | Bas  |
| Récit                     |  |  |  |
| 'Grounded theory'         |  |  |  |
| 'Temporal bracketing'     |  |  |  |
| Cartographie visuelle     |  |  |  |
| Stratégie de synthèse     |  |  |  |
| Quantification            |  |  |  |
| Simulation sur ordinateur |  |  |  |
|                           | Bas  | Haut   | Haut   |

Source : D'après Langley, 1999 (p.706).

Le compromis existe entre la précision des données recueillies et le niveau d'information des résultats qu'elles permettent de produire (Langley, 1999). Lorsque les résultats sont précis et fidèles à la trajectoire analysée, ils sont généralement difficiles à généraliser, mais à l'inverse, quand ils ne font que résumer la trajectoire initialement analysée, ils sont généralement faciles à généraliser (Oiry *et al.*, 2010). Les sept méthodes décrites par Langley (1999) ne sont pas nécessairement exclusives et peuvent donc être combinées.

## 2.2 – La vulnérabilité : un concept pour caractériser les relations entre un système et son environnement

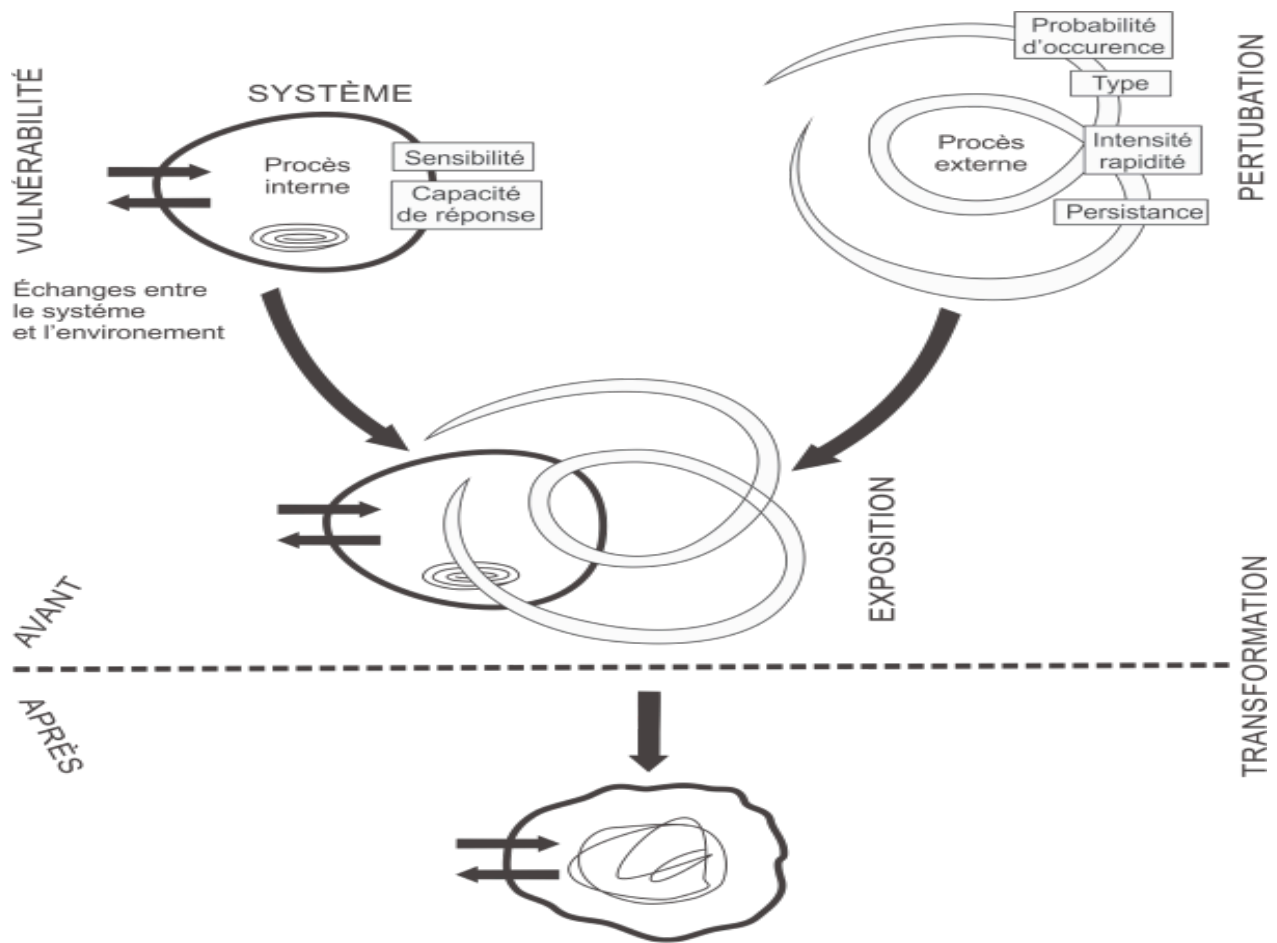
Le concept de vulnérabilité a été mobilisé au départ pour l'étude des risques naturels (Janssen *et al.*, 2006). Un autre domaine d'application est la justice sociale, tandis que d'autres encore abordent la vulnérabilité et la résilience dans un objectif de

réduction des risques (Vogel *et al.*, 2007). Globalement beaucoup de travaux ont mobilisé le concept de vulnérabilité. Ils concernent différentes disciplines, telles que l'économie, la géographie, la psychologie ; et différents champs de pratique professionnelle, tels que la recherche des risques et des catastrophes, la pauvreté et le développement, la sécurité alimentaire, l'écologie politique (Pearson *et al.*, 2011). Dans la classification d'Adger (2006), développée par O'Brien *et al.* (2004), une caractéristique clé est de savoir si la vulnérabilité est elle-même l'objet de l'analyse (les résultats sont la vulnérabilité), ou si elle sert pour comprendre le processus d'apprentissage et d'adaptation (la vulnérabilité contextuelle).

Selon Agder (2006), le concept de vulnérabilité peut être défini par une combinaison de trois composants : (i) l'exposition (la contrainte à laquelle un système est exposé) ; (ii) la sensibilité, et (iii) la capacité d'adaptation. Les caractéristiques de l'exposition comprennent l'ampleur de la contrainte, ainsi que sa fréquence, sa durée et son extension spatiale. La sensibilité est la mesure de la perturbation générée dans un système par la contrainte (Gallopain, 2006). La capacité d'adaptation est la capacité d'un système à évoluer tout en s'adaptant aux risques environnementaux et à élargir la gamme de ses réponses adaptatives (Adger, 2006). La vulnérabilité est déterminée par l'occurrence et la nature de l'interaction entre un sous-système social (ou humain) et un sous-système écologique (ou environnemental). Par exemple, un système (une ville, une communauté humaine, un écosystème) peut être potentiellement vulnérable à une certaine perturbation, mais exister sans problème dans la mesure où il n'est pas exposé à cette perturbation (Gallopain, 2006).

Selon Metzger *et al.* (2005), l'exposition est la nature et le degré auquel les écosystèmes sont soumis aux changements environnementaux ; la sensibilité est le degré auquel un système humain-environnement est affecté, soit négativement ou positivement, par le changement de l'environnement ; la capacité d'adaptation reflète le potentiel de mise en œuvre des mesures d'adaptation planifiées et concerne donc les tentatives humaines délibérées pour s'adapter ou faire face au changement, et non à l'adaptation autonome.

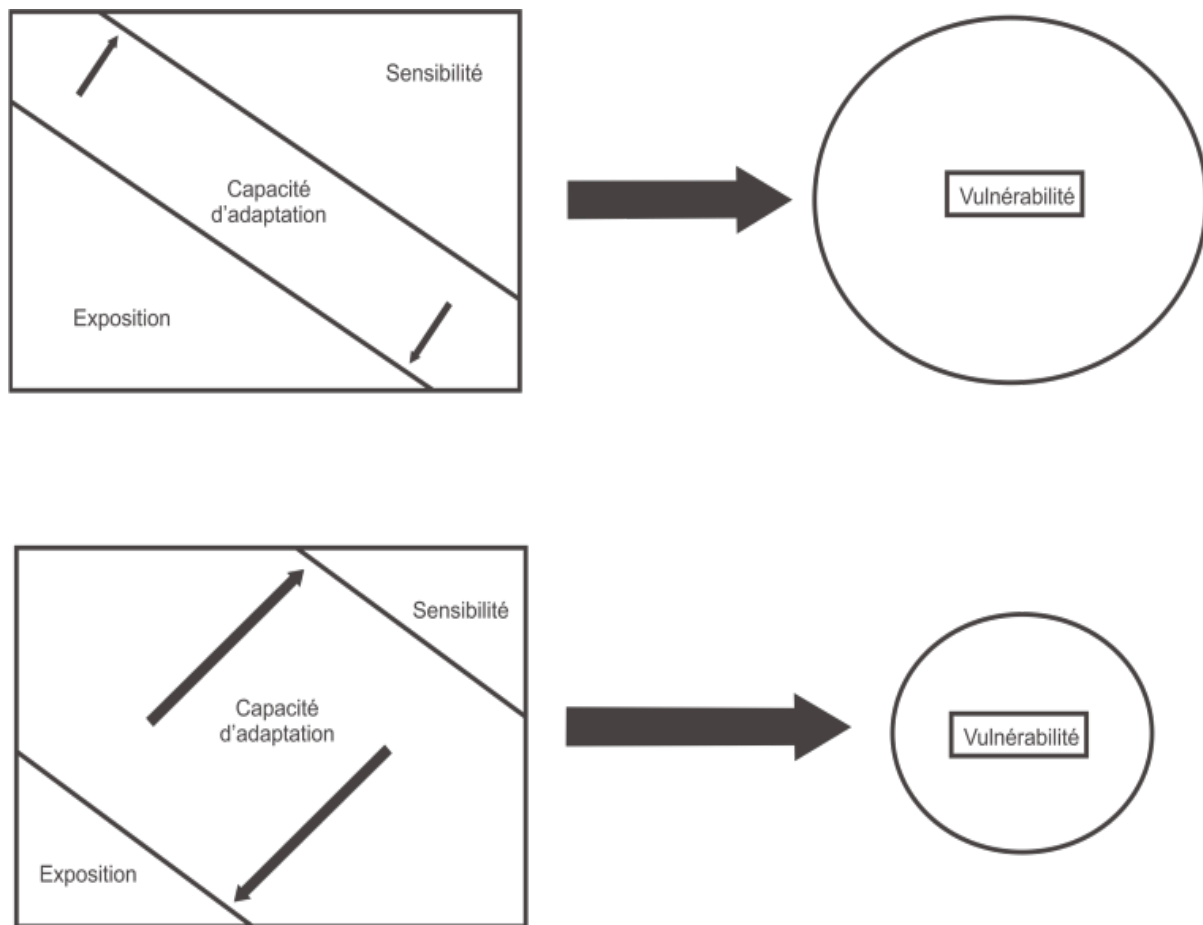
Figure 2.1 – Relations génériques entre la vulnérabilité, la perturbation, l'exposition et l'impact pour la transformation d'un système.



Source : D'après Gallopin (2006), p.296.

La capacité d'adaptation contribue à réduire la vulnérabilité. Engle (2011) montre comment la capacité d'adaptation joue un rôle essentiel dans la détermination de la vulnérabilité d'un système (Figure 2.2), car elle provoque de la modération entre l'exposition et la sensibilité du système. En raison de sa position unique comme étant mise en forme par l'action humaine et comme ayant une influence à la fois sur les éléments biophysiques et sociaux d'un système, la capacité d'adaptation est considérée comme critique pour réduire la vulnérabilité. La capacité d'adaptation est généralement considérée comme la capacité à absorber les chocs et à réduire les pertes résultant de dangers potentiels, qui comprend la capacité de planifier, préparer, faciliter, d'apprendre et de mettre en œuvre des stratégies connexes pour réduire la vulnérabilité (Klein *et al.*, 2003).

Figure 2.2 – Modération entre l'exposition et la sensibilité du système par la capacité d'adaptation.



Source : D'après Engle (2011), p.650.

Un système peut être vulnérable à certaines perturbations et pas à d'autres (Gallopin, 2006). Ce qui est vulnérable dans une période n'est pas nécessairement vulnérable (ou vulnérable de la même manière) à d'autres périodes, et en outre, certaines expositions et sensibilités se développent plus ou moins lentement au fil du temps (Smit & Wandel, 2006). La vulnérabilité est également considérée comme le potentiel de changement ou de transformation du système lorsqu'il est confronté à une perturbation (Figure 2.1). Certaines de ces perturbations se produisent régulièrement et ont peu d'impact sur le système. D'autres perturbations sont rares, mais peuvent avoir des effets dévastateurs sur le système (ten Napel *et al.*, 2011). L'adaptation ne se produit pas instantanément, la relation entre la capacité d'adaptation et la vulnérabilité dépend de façon cruciale des délais et des risques (Brooks *et al.*, 2005).



Selon Hufschmidt (2011), il n'existe pas de théorie universelle de la vulnérabilité. Le développement de la recherche sur la vulnérabilité a été profondément façonné par deux domaines de recherche : l'école « écologiste humaine » ou « le paradigme du comportement » (l'élément de base est l'ajustement humain aux catastrophes naturelles, qui est compris comme une activité humaine visant à réduire l'impact négatif des risques naturels), et le « paradigme structurel » (axé sur le contexte social, économique, culturel et politique de personnes dans leur condition de vie de tous les jours).

### **2.2.1 – La liaison entre la vulnérabilité et la résilience**

Certains auteurs définissent la vulnérabilité comme le revers de la médaille, ou l'antonyme, de la résilience (Berkes *et al.*, 2003). Cependant, ce n'est pas du tout clair, car de toute évidence, un système résilient est moins vulnérable qu'un système non-résilient, mais cette relation n'est pas nécessairement symétrique (Gallopain, 2006).

Le concept de résilience a été introduit par Holling en 1973 dans le domaine de l'écologie (Janssen *et al.*, 2006). La résilience est entendue comme la résistance d'un système aux chocs, dans le cas de chocs soudains qui mettent en danger le système, comme la mobilisation des bonnes ressources qui permettent sa reconfiguration, ou dans une vision plus ample, comme la capacité d'un système à garder, c'est à dire, d'être capable de faire face aux perturbations dans tous les stades du cycle d'adaptation (Dedieu & Ingrand, 2010). Une différence fondamentale réside dans le fait que la résilience s'applique à la préservation du comportement du système tel qu'il est exprimé par son état en restant dans le domaine considéré d'attraction, alors que la vulnérabilité se réfère à des transformations qui peuvent aller au-delà d'un seul domaine, d'un seul état d'équilibre (Gallopain, 2006).

Les travaux traitant de la résilience et de la vulnérabilité sont tous liés à la façon dont les systèmes réagissent aux changements. Toutefois, les échelles spatiales d'analyse diffèrent souvent entre les deux communautés. Les recherches sur la résilience ont eu tendance à considérer les échelles écologiquement bornées de l'écosystème et du paysage. Les recherches sur la vulnérabilité, en revanche,

tendent à considérer les échelles socialement définies de la famille, de la communauté, de la région et de la nation (Miller *et al.*, 2010). L'existence de nombreuses interconnexions peut améliorer la résilience des systèmes socio-écologiques à grande échelle par la dilution et la distribution de l'impact de forts changements dans les éléments individuels sur d'autres éléments du système (Young *et al.*, 2006).

La vulnérabilité et la résilience ont des éléments d'intérêts communs - les chocs et contraintes rencontrées par le système socio-écologique, la réponse du système, et la capacité d'adaptation (Adger, 2006). La vulnérabilité et la résilience constituent des thèmes de recherche différents, mais qui se chevauchent (Turner II, 2010). Une façon simple et ludique de distinguer l'intérêt à travailler avec la résilience ou la vulnérabilité est proposé par Thomas (2008), où il dit que le concept de vulnérabilité incite à trop regarder la moitié vide de la bouteille, la résilience invite à en regarder la moitié pleine.

### **2.2.2 – L'analyse de la vulnérabilité**

La vulnérabilité d'un système (des personnes, des lieux, entre autres) est un phénomène complexe qui est défini par une longue histoire d'interactions humaines et environnementales. Pour la gestion efficace de la vulnérabilité dans un monde dynamique et imprévisible, il faudra plus que des outils d'analyse simples, il faudra un changement fondamental dans la manière dont les décideurs locaux, régionaux et nationaux abordent les problèmes de ressources et de développement (Luers, 2005).

L'état de l'art conceptuel de la vulnérabilité exprime des idées similaires (par exemple, le risque, la sensibilité et la fragilité) ou inverses (par exemple, la résilience, la capacité d'adaptation, et la stabilité), selon Hinkel (2011). La vulnérabilité n'est pas toujours quelque chose de négatif. Il est possible de parler d'une vulnérabilité positive dans les cas où le changement conduit à une transformation bénéfique tels que l'émergence d'un groupe social donné, la disparition de la pauvreté chronique ou l'effondrement d'un régime oppressif (Gallopín, 2006).

Selon Hinkel (2011), six propositions pour l'évaluation de la vulnérabilité peuvent être faites : (i) identifier des cibles d'atténuation ; (ii) identifier des personnes, des régions ou des secteurs particulièrement vulnérables ; (iii) la sensibilisation du changement climatique ; (iv) apporter des fonds d'adaptation à des régions, des secteurs ou des groupes de personnes vulnérables ; (v) surveiller les performances de la politique d'adaptation ; et (vi) mener des recherches scientifiques.

Füssel (2007) propose une façon d'analyser les facteurs de vulnérabilité en distinguant deux dimensions indépendantes : la source de la vulnérabilité (interne vs externe) et le domaine de la connaissance (socio-économique vs biophysique). Ensemble, les quatre catégories définissent le profil de vulnérabilité d'un système d'exploitation particulier à une perturbation spécifique à un moment donné dans le temps.

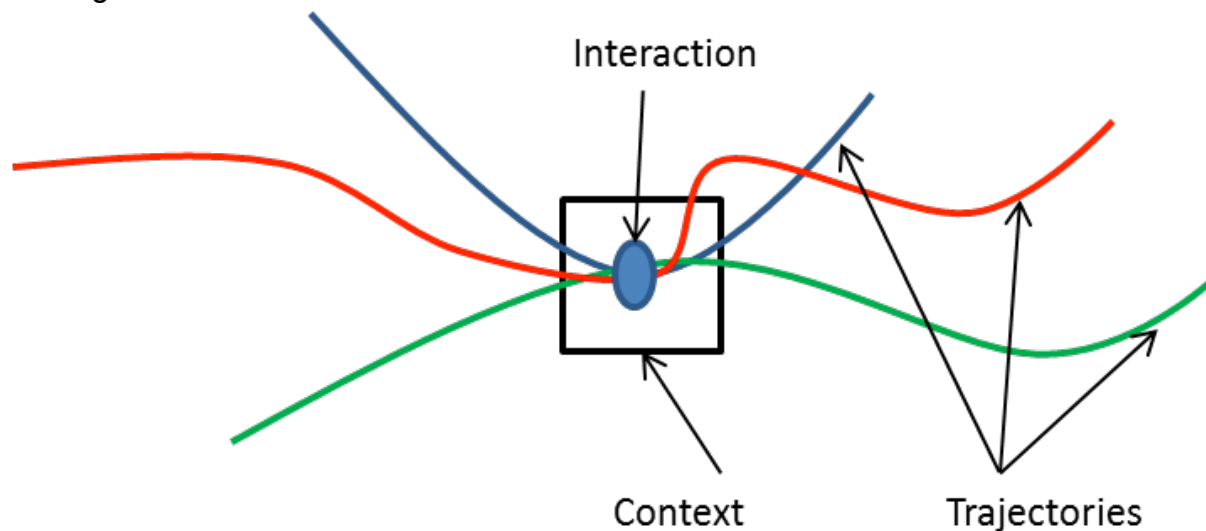
### **2.3 – Mobiliser le concept de vulnérabilité pour l'analyse des trajectoires de systèmes d'élevage**

Pour qualifier la trajectoire des systèmes, j'ai choisi de mobiliser les résultats et les cadres d'analyse des travaux portant sur la vulnérabilité, cela afin d'analyser les relations entre le système et son environnement et de comprendre les moyens que l'agriculteur peut mettre en œuvre face à des événements inattendus. Avec la nécessité croissante de développer des systèmes d'élevage plus durables, le nombre et le niveau des exigences sur la fonction du système sont en augmentation. A titre d'exemple, les exploitations mixtes polyculture-élevage sont des systèmes complexes et l'évaluation des impacts des changements sur ces systèmes ne peut pas être couverte par une démarche de recherche unique (Udo *et al.*, 2011).

Delor & Hubert (2000) fournissent une base combinant vulnérabilité et trajectoire (Figure 2.3). Ils ont identifié trois niveaux d'évaluation d'une situation de vulnérabilité sociale : (i) celui de la trajectoire sociale (trajectoires), (ii) celui de la trajectoire du contexte social (contexte), et (iii) celui sur lequel deux ou plusieurs trajectoires se croisent (interaction).

Par trajectoire sociale, les auteurs entendent que chaque individu passe par différentes phases de son parcours de vie, mais que plusieurs personnes peuvent partager une partie de la même trajectoire (raison pour laquelle elle est qualifiée de «sociale»). Ce cadre méthodologique met en évidence deux principaux axes d'analyse : (i) le même événement peut modifier deux trajectoires de différentes manières, en fonction de la vulnérabilité de chacun, et (ii) une trajectoire donnée peut être modifiée différemment par le même événement, selon le contexte (Delor & Hubert, 2000).

Figure 2.3 - Les trois niveaux de l'évaluation d'une situation de vulnérabilité : l'interaction, le contexte et les trajectoires. Ici, trois trajectoires différentes interagissent dans le même contexte.



Source : D'après Delor & Hubert (2000), p. 1559.

Malgré le fait qu'il proviennent de différentes disciplines et de différents contextes d'usage, les deux cadres (Figures 2.1 et 2.3) ont des éléments communs : la perturbation, l'interaction, l'exposition et les processus de transformation. Toutes les caractéristiques des processus externes présentées par Gallopin (2006), telles que la probabilité d'occurrence, le type, l'ampleur, l'intensité, la vitesse et la persistance, peuvent être utilisées pour analyser les sources de perturbation.

## 2.4 – Caractérisation des trajectoires

Pour mon propos, j'ai considéré que les trajectoires pouvaient être analysées à travers trois dimensions : i) le travail et la main-d'œuvre disponibles pour l'élevage,

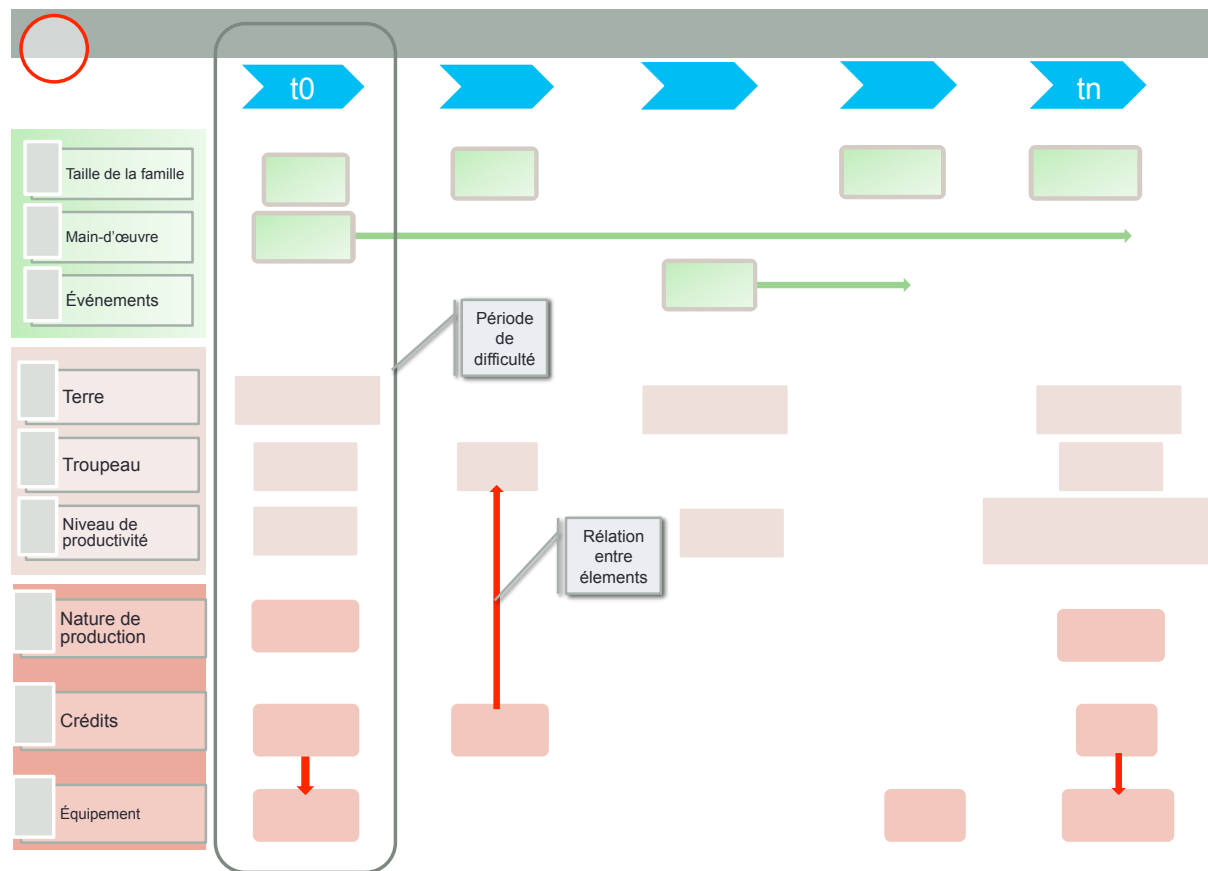
ii) les dimensions techniques de l'activité d'élevage et, iii) les dispositifs financiers mobilisés par les éleveurs (Tableau 2.2). J'ai par ailleurs décidé de combiner deux des stratégies proposées par Langley (1999): le récit, pour capturer le plus d'informations possibles sur l'évolution des systèmes d'élevage, et la cartographie visuelle (Figure 2.4), pour faciliter les discussions avec les agriculteurs et recueillir des renseignements supplémentaires.

Tableau 2.2 – Les critères utilisés pour caractériser les trajectoires des systèmes d'élevage laitier des agriculteurs familiaux, basés sur le récit et la cartographie visuelle.

| <b>Dimensions</b> | <b>Paramètres</b>                    | <b>Caracteristiques</b>   |
|-------------------|--------------------------------------|---|
| Famille           | Taille de la famille<br>Main-d'œuvre | Membres de la famille ( $t_0 \dots t_{\text{maintenant}}$ )<br>Membres effectifs de la famille dans le système polyculture-élevage, le nombre d'employés (dans une phase donnée de la trajectoire du système d'élevage) |
|                   | Événements                           | Maladies, sortie de la propriété, mariage, autres   |
| Technique         | Terre                                | Taille, arrangement, changement d'utilisation des terres, % des pâturages   |
|                   | Troupeau                             | Taille du troupeau, évolution du nombre de génisses et de vaches, race, nombre de vaches en production  |
|                   | Niveau de productivité               | Quantité de la production laitière (saison de pluies et saison sèche), évolution de la production laitière  |
| Financier         | Nature de production                 | Produits (évolution, diversification), prix (saisons pluvieuses et sèches)  |
|                   | Crédit                               | Type (public, privé, finances propres), objectifs, montant, périodes  |
|                   | Équipement                           | Type, objectifs, période de l'achat, paiement   |

Cette représentation d'une trajectoire nous permet de suivre les changements structurels et l'évolution des objectifs des agriculteurs familiaux pour leurs systèmes de production. Cependant, un défi important de l'analyse des trajectoires est l'interprétation de la succession et les liens entre les événements et l'évolution du système.

Figure 2.4 – Exemple de cartographie visuelle utilisée pour améliorer la discussion avec les éleveurs.



## 2.5 – Mesure de la vulnérabilité : le choix des indicateurs

Contrairement à d'autres attributs d'un système (tels que la taille ou le revenu), la vulnérabilité ne se réfère pas à un phénomène observable ou facilement quantifiable (Hinkel, 2011 ; Adger, 2006). Aucune procédure normalisée n'existe pour mesurer la vulnérabilité, qualitativement ou quantitativement (Hufschmidt, 2011). J'ai choisi dans ma thèse d'évaluer la vulnérabilité des systèmes d'élevage en développant des indicateurs relevant des 3 dimensions de la trajectoire, évoquées dans le paragraphe précédent.

### 2.5.1 – Caractéristiques générales des indicateurs

Un indicateur peut être défini comme une « *variable qui fournit des informations sur d'autres variables qui sont difficiles d'accès ; il peut être utilisé comme un point de repère pour prendre une décision* » (Gras et al., 1989). Les indicateurs constituent

une approche pour rendre compte des concepts théoriques de fonctionnement. Le choix des critères dépend du contexte de l'évaluation (Lebacqz *et al.*, 2012). Les indicateurs doivent être clairs, lisibles, et faciles à comprendre et à interpréter pour les utilisateurs finaux (Meul *et al.*, 2008). Un indicateur peut être développé pour différents objectifs tels que l'évaluation *ex ante* des actions, dans une phase de planification, l'évaluation *ex post* de l'action à la fin ou au cours de sa mise en œuvre, l'aide à la décision en temps réel de conduire le système, la communication (Bockstaller *et al.*, 2008). Une caractéristique essentielle d'un indicateur est sa capacité à résumer les principaux aspects du système. Alors que les indicateurs sont principalement considérés comme quantitatifs, puisque l'une de leurs principales fonctions est de quantifier les changements, il est admis que les indicateurs qualitatifs sont également des outils utiles (Fernandes & Woodhouse, 2008).

Selon Hinkel (2011), le développement d'indicateurs de vulnérabilité implique deux défis uniques : (i) la difficulté de définir exactement l'entité vulnérable (ou système), et (ii) l'aspect prospectif de la vulnérabilité qui est le résultat du processus que les humains engagent activement. Hinkel (2011) mentionne également trois types d'indicateurs selon la méthode utilisée pour les définir : (i) la déductive, basée sur la théorie existante, (ii) l'inductive, basée sur des observations, et (iii) la normative, fondée sur des valeurs de jugement. Pour être transparents et crédibles, les indicateurs devraient être définis en trois étapes : (i) la contextualisation pour en déterminer l'usage, les échelles et les parties prenantes impliquées dans l'évaluation ; (ii) la comparaison des indicateurs basés sur différents critères, notamment la disponibilité des données ; et (iii) la sélection d'un ensemble minimal, uniforme et suffisant d'indicateurs (Lebacqz *et al.*, 2012).

Les indicateurs peuvent représenter le résultat d'une mesure, le résultat d'un simple calcul basé sur une combinaison de données, ou le résultat d'une simulation dérivée d'un modèle complexe. Les choix de l'échelle, de la fonction de score et de la valeur sont subjectifs, dépendent de considérations pratiques, et peuvent faire l'objet de discussion. Dans tous les cas, ces choix doivent être explicites et transparents (Bockstaller *et al.*, 2008).

Pour une interprétation correcte, un indicateur doit appartenir à un ensemble cohérent et complet (Niemeijer & de Groot, 2008). Augmenter le nombre d'indicateurs est complexe dans la pratique car cela provoque la redondance de l'ensemble des indicateurs et rend l'interprétation et la communication des résultats plus difficiles (Bockstaller *et al.*, 2008). L'identification des corrélations entre les indicateurs pourrait également aider l'utilisateur dans le processus de sélection d'un ensemble minimal, cohérent et suffisant d'indicateurs (Lebacqz *et al.*, 2012). En ce qui concerne l'échelle temporelle, les indicateurs peuvent être utilisés pour surveiller l'état du système à plusieurs moments dans le temps ou à le comparer à une valeur de référence (Van Cauwenbergh *et al.*, 2007). Il est important de spécifier le type d'utilisateurs finaux de l'évaluation, car il est peu probable que les mêmes indicateurs seront choisis si les utilisateurs finaux sont des scientifiques, des agriculteurs, des décideurs ou des consommateurs (Bockstaller *et al.*, 2008).

Une fois qu'une batterie d'indicateurs est définie, il s'agit de savoir comment les agréger afin de fournir, dans mon cas, une évaluation globale de la vulnérabilité des systèmes d'élevage. Je propose de résumer les indicateurs sous une forme graphique, après avoir réalisé une transformation des valeurs de chacun des indicateurs de telle sorte qu'ils puissent tous être reportés sur une échelle négative de la vulnérabilité (« moins vulnérable, c'est mieux »).