22 juillet 2021

Evaluer la résilience de l'agriculture

Revue bibliographique

By courtesy of Serge Tisseron (www.sergetisseron.com)

Contact : thomas.guilbaud@cereopa.fr

Table des matières

Introduction 3
1 Définition générale de la résilience 3
1.1 Etymologie 3
1.2 Chronologie de la résilience 4
1.3 Théorie des bassins d'attraction 4
1.4 Analogie entre la théorie des bassins d'attraction et les diagrammes énergétiques des réactions chimiques 6
1.5 Résilience et gestion de crise 7
1.6 Une définition de la résilience 9
2 Méthode générale d'évaluation de la résilience 9
2.1 Définir les limites spatiales et temporelles du système, les interactions entre les composants, les interactions avec l'extérieur, les interactions inter-échelles. 10
2.1.1 Définir la problématique 10
2.1.2 Résilience de quoi ? Définir les composants essentiels du système. 10
2.1.3 Résilience à quoi ? Définir la ou les perturbations, disruption et incertitudes 11
2.1.4 Etendre le système dans ses dimensions spatiales et temporelles. 11
2.2 Comprendre la dynamique du système. 11
2.2.1 Un modèle conceptuel du changement : le modèle du cycle adaptatif (exemple de la forêt qui brule ou de la conversion d'une forêt productive à une forêt d'éco-tourisme). 11
2.2.2 Décrire l'ensemble des états du système possible 12
2.3 Anticiper les seuils et les transitions 12
2.4 Identifier les interactions inter-échelles 12
2.4.1 Parnarchie, un terme qui décrit des systèmes liés de façon hiérarchique représentés comme des cycles adaptatifs qui interagissent entre différentes échelles. 12
2.4.2 Interactions entre les seuils et réactions en cascades. 13
2.5 Distinguer la résilience spécifique et la résilience générale 13
2.6 Analyser le système de gouvernance 13
2.6.1 Le lien social existant entre les parties prenantes 13
2.6.2 Gouvernance adaptative et institutions 13
2.7 Synthétiser les résultats de l'évaluation 13
2.8 Gérer la résilience de manière opérationnelle 17
3 Adaptation du concept de résilience à l'agriculture : état des lieux 18
3.1 Approche empirique vs approche théorique 18
3.2 Les enseignements des approches empiriques 19
3.2.1 Influence de la diversité et du niveau d'intensification sur la vulnérabilité, la résilience et la robustesse des systèmes agricoles (DARDONVILLE, 2020). 19

3.2.2 Regards sur la résilience des exploitations du réseau INOSYS, Idele (IDELE, Les éleveurs bovins lait face aux crises et aux aléas, regards sur la résilience des exploitations du réseau INOSYS-Réseaux d'élevage, 2017). 22

3.3 Les enseignements des approches théoriques 23

3.3.1 Exemple de l'évaluation de la résilience de l'agriculture du Bourbonnais 24

3.3.2 Evaluation de l'impact de la PAC sur la résilience des exploitations agricoles : application le l'outil d'évaluation de la résilience (ResAT) à un cas-type au Pays-Bas. 26

Conclusion 28

Bibliographie..... 30

Figure 1 : la chronologie de la résilience, illustration à l'échelle d'un territoire, CEREMA, 2020 4
Figure 2 : formalisation d'un bassin d'attraction et définition des caractéristiques en lien avec la résilience (Lise Maciejewski et al. 2016). 5
Figure 3 : illustration des trois capacités associées à la résilience d'une système agricole et lien avec les bassins d'attraction, (Meuwissen, 2019) 6
Figure 4 : analogie entre réaction chimique et transformabilité d'un système, exemple de la combustion du méthane, (Wikipedia, 2021)..... 7
Figure 5 : définition et caractérisation d'un système agricole incluant des exemples d'acteurs, (Meuwissen, 2019) 10
Figure 6 : modèle conceptuel général d'un socio-écosystème. 14
Figure 7 : guide des questions à poser pour la construction d'un modèle conceptuel de socio-écosystèmes. 15
Figure 8 : guide des questions à poser pour la construction d'un diagramme de seuils et d'interactions. 16
Figure 9 : exemple de mise en forme d'un digramme de seuils et d'interactions. 17
Figure 10 : exemples de stratégies de gouvernance permettant d'améliorer la résilience des socio-écosystèmes. 18
Figure 11 : effet de divers facteurs explicatifs sur la dynamique de rendement..... 21
Figure 12 : effet de divers facteurs explicatifs sur la dynamique de profitabilité du système agricole 21
Figure 13 : corrélation entre revenu disponible moyen 2007-2013 et variabilité interannuelle du revenu (exemple des exploitations laitières spécialisées de plaine), (IDELE, 2017) 22
Figure 14 : exemple d'attributs de la résilience classés par capacité et par thématique, SURE-Farm . 23
Figure 15 : extrait d'une méta-analyse portant sur les résultats issus de plusieurs méthodes à trois échelles d'un système de grandes cultures néerlandais, (Herrera, 2018) 24
Figure 16 : poster exposant les résultats d'une analyse de résilience du système agricole du Bourdonnais en France (principalement production extensive de bovins viande), (REIDSMA, 2017) 25
Figure 17 : analyse de l'apport des modèles informatiques au regard des trois capacités associées à la résilience, (Herrera, 2018)..... 26
Figure 18 : The Resilience Assessment Tool (ResAT) appliqué aux effets de la politique agricole commune sur une exploitation type de grandes cultures au Pays-Bas, (BUITENHUIS, 2020). 27

Introduction

Dans les pays industrialisés et tertiarisés, les activités agricoles ne représentent, en valeur, plus que quelques pourcents de la production. Cela signifie qu'une poignée d'hommes est aujourd'hui capable de nourrir toute la population des pays de l'OCDE et cela sans rupture d'approvisionnements. Cet état de fait, inédit dans notre histoire, peut donner le sentiment à une large part de la population mondiale d'une sorte d'invulnérabilité ou de super puissance alimentaire. Il est donc nécessaire de se questionner sur la réalité physique et technique qui explique cette situation, pour évaluer dans quelle mesure le sentiment rejoint ou non la raison.

Ce rapport vise à donner aux lecteurs, au travers d'une revue bibliographique, une première strate d'outils qui leur permettra d'appréhender le sujet de la résilience des systèmes. Ainsi, nous allons dans une première partie définir et expliciter le concept de résilience. Nous exposerons ensuite une méthode d'évaluation de la résilience appliquée aux socio-écosystèmes, tout en visant l'opérationnalité. Enfin, nous verrons dans une troisième et dernière partie comment cette évaluation peut être appliquée au secteur agricole. Tout au long de cet exposé, nous nous efforcerons de traiter les problématiques à différentes échelles.

1 Définition générale de la résilience

1.1 Etymologie

D'un point de vue étymologique, le mot résilience est composé du préfixe latin « re » qui indique un mouvement en arrière et « salire » qui signifie sauter (ANAUT, 2003) (POILPOT, 2003). Au Moyen-Âge, il prend le sens de résiliation, qui désigne le geste de se dégager des obligations d'un contrat, de s'en libérer. Plus tard, les Anglo-Saxons donnent au participe présent « resiliens » du mot latin « resilire », le sens de rebond ; à l'idée de reculer pour se libérer s'ajoute celle de reculer pour mieux sauter. En fait, les deux nuances coexistent aujourd'hui : la résilience est à la fois la capacité de se délier des effets d'un traumatisme et celle de se reconstruire après un choc (TISSERON S. , 2007) (MICHALLET, 2009).

Il est également possible de définir la résilience comme la capacité d'un système à conserver son identité, autrement dit à assurer la continuité dans l'espace et dans le temps de certaines de ses propriétés de ses composants clefs (CUMMING, 2005).

Le mot de résilience est utilisé dans de nombreuses disciplines telles que la physique des matériaux, la psychologie, l'informatique, en biologie et en sciences de l'environnement. En physique des matériaux la résilience indique la capacité d'un métal à revenir à sa forme initiale après une déformation produite par un choc. En psychologie, il s'agit de la capacité d'un individu à retrouver une vie normale après un traumatisme. Enfin, en informatique, il s'agit de la capacité d'un système à fonctionner malgré la défaillance de certains composants (MARTIN, 2018).

On constate que quelle que soit la définition disciplinaire, celle-ci intègre les termes de l'étymologie :

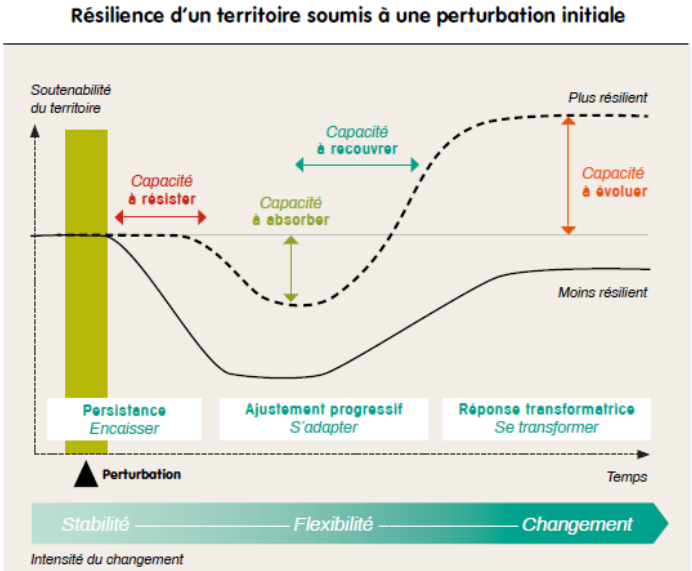
- il y a d'une part **une dimension conceptuelle relative au recul**. Cela se traduit par une déformation en physique des matériaux, par un mal-être en psychologie ou une incapacité à assurer certaines fonctions pour un système informatique.
- il y a d'autre part **une dimension conceptuelle relative au rebond.** Cela se traduit par un retour à l'état initial ou du moins à un état satisfaisant au regard de l'état initial, voire même à un état renforcé.

1.2 Chronologie de la résilience

La narrative de la résilience postule une chronologie précise : d'abord il y a recul et ensuite il y a rebond. Par ailleurs, le recul est toujours la conséquence d'un choc ou d'un aléa, termes qui intègrent les notions de violence ou d'imprévisibilité.

Le concept de résilience peut ainsi être matérialisé par une courbe dans un repère en 2 dimensions dont l'ordonnée serait le niveau de performance ou le niveau de fonctionnalité et dont l'abscisse serait le temps. A la suite d'une perturbation (aléa ou choc), le niveau de performance est dégradé avant de retrouver plus ou moins rapidement un niveau satisfaisant. Tout au moins, le système conserve une certaine forme d'identité propre qui se matérialise par des attributs de structures et de fonctions. A titre d'illustration, la Figure 1 produite par le CEREMA, montre ce type de dynamique en y ajoutant quelques complexifications et interprétations propres. Cette figure existe sous de nombreuses variantes selon les publications mais la forme de la courbe demeure systématiquement la même.

Figure 1 : la chronologie de la résilience, illustration à l'échelle d'un territoire, CEREMA, 2020



1.3 Théorie des bassins d'attraction

Une autre façon de se représenter la résilience est de considérer des bassins d'attraction (SAUVANT, 2010), (MEUWISSEN, 2019), (DAUPHINE, 2007) (Cf. Figure 2). Un bassin d'attraction représente un ensemble d'états du système dont l'état le plus stable se situe au fond des bassins. Des crêtes, ou autrement dit des seuils, séparent les différents bassins d'attractions. Avant le seuil, le système garde la capacité à revenir à l'état « d'avant choc » de façon spontanée et avec un niveau d'énergie minimum. Après le passage du seuil, la structure et les fonctions du système ne peuvent être totalement recouvrées qu'au prix de la mobilisation d'une quantité d'énergie importante, dont le niveau éventuellement démesuré peut représenter en pratique une impossibilité de retour à l'état antérieur. Cette définition présente l'avantage de préciser, en permettant sa visualisation, ce qui caractérise le changement d'état. Il s'agit alors du passage d'un bassin d'attraction « de départ » à un bassin d'attraction « de destination » au travers du franchissement d'une crête, autrement dit d'un seuil. Deux points sont alors à noter :

- L'ensemble des états du système caractérisant le bassin d'attraction **« de départ »** peuvent être connus ou non. Ainsi, les conditions d'atteinte des crêtes (ou seuils) peuvent être connues ou inconnues.

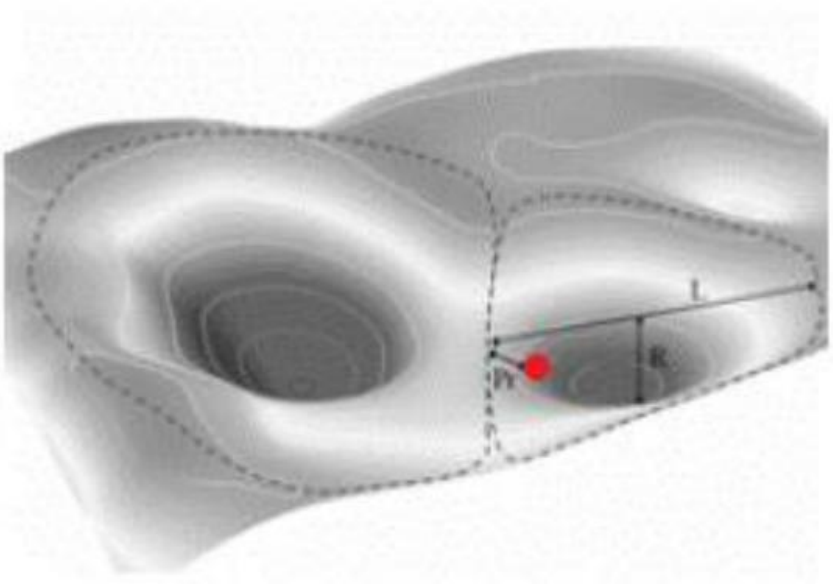
- De même, les caractéristiques du bassin d'attraction **« de destination »** peuvent également être connues ou non.

La théorie des bassins d'attraction permet d'aller plus loin dans la représentation conceptuelle de la résilience car elle permet de comprendre des évolutions dans un nouveau paradigme d'équilibres pluriels. Dans ce cas, le système a un comportement dicté par plusieurs attracteurs. Chaque attracteur est au cœur d'un bassin d'attraction, constitué par l'ensemble des trajectoires du système qui conduisent à cet attracteur. La résilience est alors mise en relation avec le changement de comportement du système qui bifurque, et franchit la limite qui sépare deux bassins d'attraction (DAUPHINE, 2007).

Les chercheurs déduisent alors trois indicateurs pour quantifier la résilience. La taille du bassin d'attraction, qualifiée de latitude (L), est un premier indicateur. Plus ce bassin est vaste et plus la résilience du système considéré est grande. La profondeur de l'attracteur (R), qui mesure sa puissance d'attraction, est un second indicateur de la résilience. Il faut en effet de plus grandes perturbations pour changer le système quand l'attracteur est profond. Enfin, la précarité (Pr) est égale à la distance qui sépare le système (point rouge sur la Figure 2) d'une limite du bassin d'attraction dans lequel ce point est situé. Une position du système très proche de la frontière d'un bassin d'attraction est moins résilient qu'un autre état centré sur l'attracteur même. Mais, ces indicateurs supposent une connaissance de la configuration spatiale du ou des bassins (DAUPHINE, 2007).

Il serait encore possible d'enrichir le modèle des bassins d'attraction, en considérant que chacun d'eux contient de multiples « sous-bassins » d'attraction.

Figure 2 : formalisation d'un bassin d'attraction et définition des caractéristiques en lien avec la résilience (Lise Maciejewski et al. 2016).

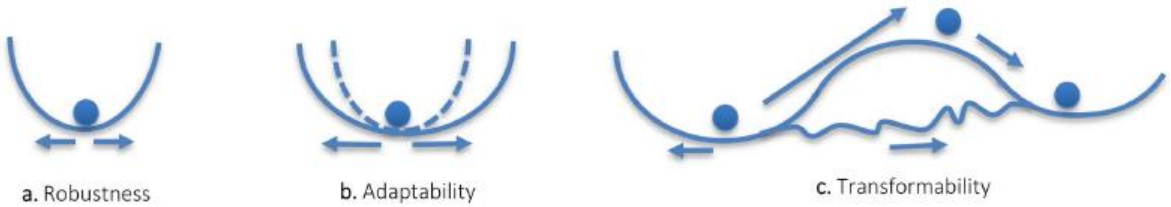


Enfin, l'analogie aux bassins d'attraction est reprise (MEUWISSEN, 2019) en y associant des notions bien spécifiques :

- Un système se trouvant dans le creux d'un bassin d'attraction dont les bords sont rigides est associé à la capacité de robustesse,
- Un système se trouvant dans le creux d'un bassin d'attraction dont la largeur est modulable est associé à la capacité d'adaptabilité,

- Un système en mesure de passer d'un bassin d'attraction à un autre est associé à la capacité de transformabilité.

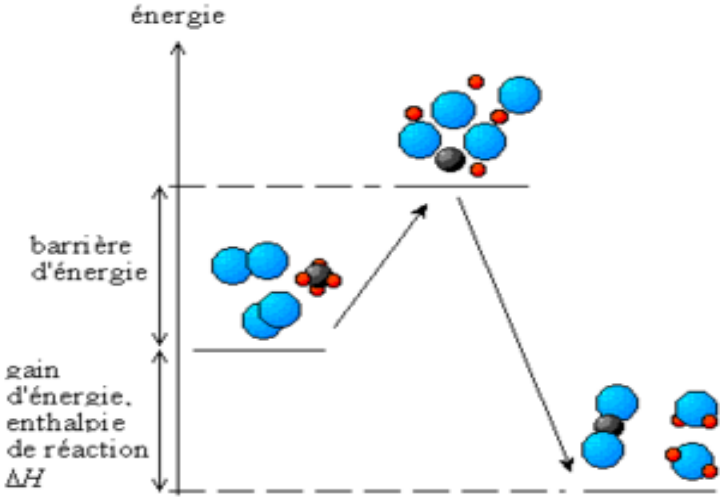
Figure 3 : illustration des trois capacités associées à la résilience d'une système agricole et lien avec les bassins d'attraction, (MEUWISSEN, 2019)



1.4 Analogie entre la théorie des bassins d'attraction et les diagrammes énergétiques des réactions chimiques

Une analogie peut être faite entre la théorie des bassins d'attraction et les diagrammes énergétiques des réactions chimiques. Ces derniers représentent l'évolution au cours du temps du niveau d'énergie d'un système dans lequel se produit une réaction chimique. Pour se faire, la réaction a besoin d'une énergie d'activation qui fragilise les liaisons entre atomes et permet ainsi des réorganisations. Si le système est soumis à une quantité d'énergie plus faible que l'énergie d'activation alors la réaction ne se produit pas : les molécules s'agitent, les liaisons entre atomes se déforment mais le système revient spontanément à son état initial lorsqu'il n'est plus stimulé. L'énergie d'activation est toujours plus importante dans un sens de la réaction que dans l'autre (on parle de réaction endergonique quand l'énergie d'activation est plus importante dans le sens « aller » que « retour » et de réaction exergonique à l'inverse). Lorsque la réaction chimique est connue, alors l'énergie d'activation est connue, et donc, le seuil énergétique nécessaire pour passer d'un état à l'autre est connu. A condition de disposer de l'énergie nécessaire, on peut alors décider du passage d'un état à l'autre, avec une prévisibilité totale. Cela est possible car il y a eu des travaux scientifiques et techniques spécifiquement entrepris qui ont permis de comprendre la dynamique du système et de mesurer l'évolution de ses variables au cours du temps sous diverses conditions internes et externes. La Figure 4 montre le diagramme énergétique de la réaction de combustion du méthane. Cet exemple est bien entendu caricaturalement simple. *In vivo*, de nombreuses molécules sont présentes dans le système au-delà du méthane et de l'oxygène, ce qui rend la caractérisation de l'énergie d'activation bien plus complexe à déterminer et ce qui rend chaque réaction (ou transformation) unique. Enfin, il est intéressant de noter que certaines réactions chimiques peuvent être catalysées grâce à des enzymes. Celle-ci permettent de réunir et de positionner les substrats de façon optimisée permettant ainsi de baisser l'énergie d'activation, parfois dans des proportions considérables, et ainsi d'accélérer et d'orienter la réaction.

Figure 4 : analogie entre réaction chimique et transformabilité d'un système, exemple de la combustion du méthane, (Wikipedia, 2021)



1.5 Résilience et gestion de crise

Par rapport à l'écologie, les économistes ont souligné que la résilience pouvait adopter deux formes (BERKES, 1998). La première, **la résilience réactive** est semblable à la résilience écologique ou mécanique. La seconde, **la résilience proactive**, fait référence à deux notions, celles de **l'apprentissage et de l'anticipation** des sociétés humaines sur le futur (DAUPHINE, 2007)

ROUX-DUFORT défend la thèse selon laquelle la gestion de crise se fait de plus en plus souvent, à la fois en amont et en aval des crises (ROUX-DUFORT, 2015). En amont, la prévention et l'anticipation permettent de réduire les impacts négatifs des crises sur les organisations. Ces actions, pour être efficaces, doivent s'appuyer sur une bonne compréhension du fonctionnement de l'organisation, des chocs auxquels elle pourrait être soumise et de leurs effets. En aval, la résilience constitue une approche moins optimiste. Elle suppose que les crises qui deviennent de plus en plus imprévisibles et nombreuses sont difficilement gérables et surtout impossibles à anticiper. Il leur faut par conséquent mettre en place les dispositifs nécessaires pour soutenir et amortir les chocs provoqués par une éventuelle crise. La résilience est par définition la capacité à maintenir un équilibre organisationnel sous conditions extrêmes.

Le courant des Organisations Hautement Fiables (HRO) (sous marins nucléaires, centrales nucléaires, usines de traitement des déchets toxiques, etc) montre l'importance de l'entraînement, de la simulation, de la redondance et d'une culture de conscience du risque et de vigilance collective. Ces caractéristiques permettent à ces organisations d'apprendre de façon continue. La résilience, en tant que capacité à éviter la crise, est en fin de comptes le résultat d'un apprentissage continu (ALTINTAS, 2009).

Le terme de résilience est également souvent mis en avant dans le cadre des réflexions publiques sur les risques majeurs. Haroun TAZIEFF[1] qualifiait le risque majeur de la façon suivante : « La définition que je donne du risque majeur, c'est la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre ». (Ministère de l'écologie, https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-risques-majeurs). Deux critères caractérisent le risque majeur :

- une faible fréquence : l'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes ;
- une énorme gravité : nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.

D'une manière générale le risque majeur se caractérise par de nombreuses victimes, un coût important de dégâts matériels, des impacts sur l'environnement : la vulnérabilité mesure ces conséquences. Le risque majeur est donc la confrontation d'un aléa avec des enjeux. Sur la base de ces critères, le ministère de l'Environnement a produit une grille classifiant les événements naturels selon leur niveau de gravité. En outre, il construit sa politique de prévention sur 7 principes complémentaires :

1. La connaissance des phénomènes, de l'aléa et du risque

Une connaissance approfondie des risques permet de mieux évaluer les conséquences potentielles des phénomènes et de mettre en place des mesures de prévention ou de protection appropriées en tenant compte de la vulnérabilité du site considéré. Pour avoir une meilleure compréhension des aléas, il est donc primordial de développer ces axes de recherche, mais également de mettre cette connaissance à disposition du plus grand nombre, notamment via internet ou dans le cadre d'une coopération partenariale.

2. La surveillance, la prévision et l'alerte
3. L'information préventive et l'éducation des populations
4. La prise en compte des risques dans l'aménagement et l'urbanisme
5. La réduction de la vulnérabilité
    - Mitigation soit en réduisant l'intensité des aléas, soit en réduisant les enjeux. Dans le cas agricole, l'enjeu est proportionnel à la taille de la population à nourrir. On peut réduire l'aléas : digues pour les inondations, irrigation pour les sécheresses, produits phytosanitaires et antibiotiques pour les maladies.
    - Dispositifs collectifs : digue, barrières anti-avalanches, coupe pare-feu
    - Les moyens individuels : débroussaillage des terrains dans les zones concernées par les incendies de forêt ou de la pose de batardeaux (cloisons amovibles équipés de joints étanches) devant les portes et les fenêtres pour protéger l'intérieur de la maison d'une inondation.
6. La préparation et la gestion de crise :
    - L'organisation de la réponse de sécurité civile (ORSEC). Ce dispositif, arrêté par le préfet, détermine, compte tenu des risques existants dans le département, l'organisation générale des secours et recense l'ensemble des moyens publics et privés susceptibles d'être mis en œuvre.
    - Le plan communal de sauvegarde (PCS)
    - Le plan particulier de mise en sûreté (PPMS)

[1] Secrétaire d'Etat, Chargé de la prévention des risques naturels et technologiques majeurs, sous la présidence de François Mitterrand.

7. La gestion de l'après-crise et le retour d'expérience
   - L'assurance : assurance catastrophe naturelle
   - L'analyse de l'après-crise

1.6 Une définition de la résilience

Pour conclure cette partie sur la définition du concept de résilience, il apparaît que :

- La résilience d'un système se mesure au regard de sa capacité à conserver une certaine identité et une certaine continuité dans son fonctionnement malgré la survenu d'événements imprévisibles ou brutaux appelés aléas ou chocs (Paragraphes 1.1 et 1.2)
- La résilience intègre dans son étymologie et dans la plupart des définitions disciplinaires les notions de recul ou de défaillance suivi d'un rebond. (Paragraphes 1.1 et 1.2)
- Suite à un choc, plus le retour à un état stable se fait rapidement et à un niveau satisfaisant, plus le système sera jugé résilient (paragraphe 1.2)
- La dynamique de résilience peut prendre différentes formes : la robustesse, l'adaptabilité et la transformabilité (paragraphes 1.3 et 1.4)
- La résilience peut-être une réponse à des crises et rejoint alors la théorie de la gestion de crises (paragraphe 1.5).

Sur la base de tous ces éléments, nous proposons de retenir la définition de la résilience de Tisseron, 2021 (TISSERON S. , 2021). Il propose de ne plus mettre en avant « la « résilience », mais l'existence de systèmes résilients en état d'équilibre dynamique (métastabilité) et capables de faire face à un bouleversement en combinant quatre qualités :

1. Se préparer et anticiper les perturbations grâce à la veille et à la prospective
2. Résister aux aléas pour en minimiser les effets
3. Se relever et rebondir grâce à l'apprentissage, l'adaptation et l'innovation en profitant des bouleversements qui sont survenus pour envisager un développement sur des bases moins vulnérables
4. Evoluer vers un nouvel état en équilibre dynamique en réduisant les conséquences physiques et psychiques des perturbations. »

Ainsi, la résilience est un concept riche et complexe qui permet d'appréhender la façon dont un système peut réagir à un aléa. Lorsque ce concept complexe est appliqué à un système lui-même complexe tel que des systèmes socio-écologiques ou encore des agro-ecosystèmes, sa déclinaison opérationnelle devient extrêmement difficile. Par conséquent, certains diront (CABELL, 2012) qu'il est presque impossible de prendre en compte tous les facteurs de la résilience et donc que la théorie de la résilience n'est pertinente que sous forme de métaphore. Elle est alors utile pour penser l'évolution des systèmes mais elle est difficile à opérationnaliser du fait de sa nature multi-dimensionnelle, multi-échelles et du niveau d'abstraction requis. Face à cela, plusieurs chercheurs proposent de définir des attributs de la résilience plus facilement mesurables ou au travers desquels il est plus facile de caractériser le système. C'est cette voie que nous allons explorer dans la partie suivante.

2 Méthode générale d'évaluation de la résilience

Cette partie, notamment sa trame, repose pour une bonne part sur le rapport « Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners v2.0 » (RESILIENCEALLIANCE, 2010) produit par l'organisation « ResilienceAlliance ». Ce rapport décrit une méthode permettant d'évaluer la résilience d'un système socio-écologique. Cette méthode est très complète et est reprise, ou moins

partiellement, dans de nombreuses publications scientifiques. Il est donc possible de se rapporter à ce document pour avoir des exemples applicatifs relatifs aux différentes notions explicitées ci-dessous.

2.1 Définir les limites spatiales et temporelles du système, les interactions entre les composants, les interactions avec l'extérieur, les interactions inter-échelles.

Cette étape consiste à produire une première définition du système objet d'étude. Cette définition devra être revue au fur et à mesure de l'avancement dans la compréhension du système via un processus itératifs.

Un exemple de définition du système est présenté au travers de la Figure 5. Définir le système est une façon de déterminer des repères conceptuels pour mieux raisonner la dynamique du système. Cela permet de définir les composants du système, la manière dont ils interagissent entre eux et la manière dont le système interagit avec les éléments extérieurs.

Figure 5 : définition et caractérisation d'un système agricole incluant des exemples d'acteurs, (MEUWISSEN, 2019)

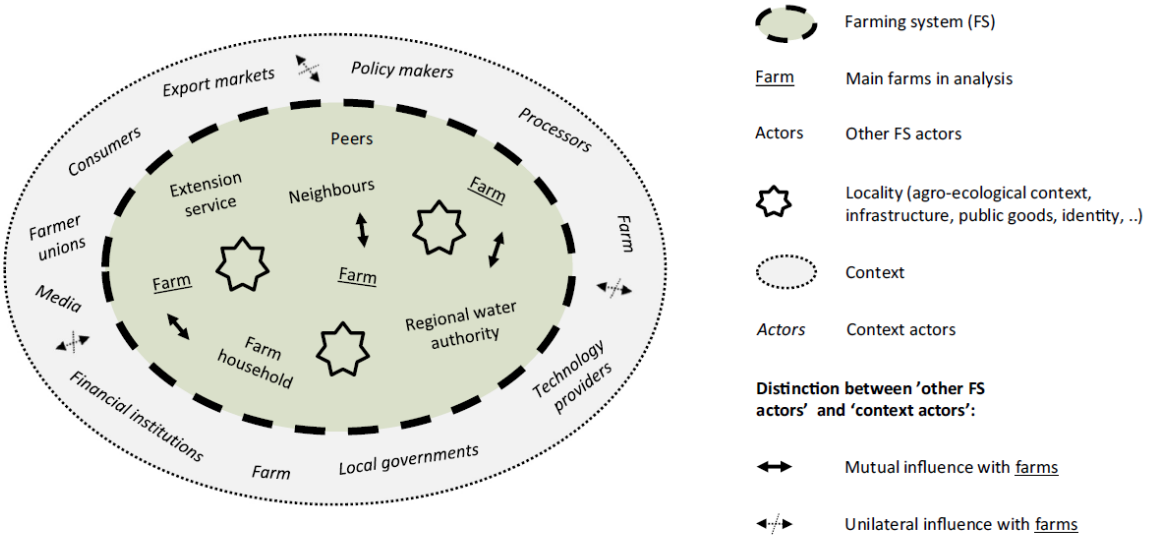


Fig. 3. Characterization of a farming system including example actors.

2.1.1 Définir la problématique

Définir la problématique est une première étape vers la définition du système. Souvent la problématique apparait assez évidente car elle a bien été identifiée par les différentes parties prenantes (source 13). Il peut alors s'agir d'une problématique d'érosion des sols, de salinisation des sols, de surpêche, de sécheresse, etc. Cependant, il se peut également que les principaux sujets d'études ne soient pas clairement identifiés ou que ceux-ci soient différents selon les différentes visions des parties prenantes.

2.1.2 Résilience de quoi ? Définir les composants essentiels du système.

Une fois les principaux sujets de préoccupation définis, il est alors possible de déterminer les éléments clefs du systèmes liés à ces sujets de préoccupation. Par exemple pour étudier la résilience d'un espace forestier face à des conditions favorisant les incendies, il est utile de comprendre le fonctionnement biophysique de la forêt (âge des arbres, espèces, climat, etc.) ainsi que ses propriétés sociales (disposition de l'habitat résidentiel, programmes de gestion forestière, incitation économique au contrôle des incendies, etc.).

L'identification des composants clefs du système nécessitera là encore une diversité de perspectives et de visions qui peuvent s'appréhender au travers d'interview des différentes parties prenantes.

2.1.3 Résilience à quoi ? Définir la ou les perturbations, disruption et incertitudes

La « ResilienceAlliance » propose de préciser l'aléa en parlant de perturbation, de rupture et d'incertitude liée à l'amplitude et au moment de l'aléa. Par exemple, l'aléa peut être un feu, une maladie, une tempête, ou encore une récession économique, des innovations, des changements technologiques ou une révolution. Une intervention humaine peut également être vu comme une forme de perturbation des socio-écosystèmes, comme par exemple la création d'un canal d'irrigation, la pêche intensive ou des activités minières.

Il est possible de distinguer plusieurs régimes de perturbation : par exemple, on distingue les perturbations de type « pulse » qui sont brèves dans le temps et les perturbations de type « pression » qui sont le résultat d'une perturbation dont l'intensité est graduelle et cumulative dans le temps. Il y a plusieurs façons de caractériser les perturbations : fréquence, durée, sévérité et prédictibilité. Enfin, la résilience d'un système doit également s'évaluer à l'aune de potentielles combinaisons plus ou moins complexes de différentes perturbations. Il se peut alors que la combinaison de perturbations est un effet qui soit différent de la somme des effets de chacune des perturbation prise isolément. Par exemple, un système qui n'a pas eu le temps de récupérer peut présenter une vulnérabilité bien plus importante.

En définitive, connaître la nature du régime de perturbation peut permettre de mieux appréhender les perturbations et leurs effets sur le système socio-écologique et ainsi de mieux les gérer. Cependant, le régime de perturbation peut également changer au cours du temps et intégrer un certain degré d'incertitude.

2.1.4 Etendre le système dans ses dimensions spatiales et temporelles.

Les échelles spatiales et temporelles sont interconnectées. Ce qui se produit à une échelle donnée peut influencer ce qui se passe à une autre échelle. Par exemple, si la consommation d'énergie fossile peut améliorer la résilience des systèmes à l'échelle locale et sur une échelle de temps courte, au contraire, en impactant le climat, elle affaibli la résilience du système. Ainsi, dans la plupart des socio-écosystèmes, les différentes échelles spéciales et temporelles sont liées entres elles. Les systèmes observés aux échelles les plus larges tendent à changer plus doucement et moins fréquemment alors que les systèmes de plus petites tailles évoluent généralement plus rapidement et plus souvent. Par exemple, des coraux individuels ou des petites surfaces de coraux ont tendance à évoluer plus vite et plus fréquemment que le système coralien entier. Ceci n'est bien-sûr pas toujours le cas, et il existe de nombreuses exceptions (changements sociaux de masse, certaines tempêtes, etc).

2.2 Comprendre la dynamique du système.

2.2.1 Un modèle conceptuel du changement : le modèle du cycle adaptatif (exemple de la forêt qui brule ou de la conversion d'une forêt productive à une forêt d'éco-tourisme).

Tout autant que la connaissance du régime de perturbation, comprendre et connaitre la dynamique du système permet de mieux anticiper ses réactions et donc de mieux évaluer sa résilience.

Le modèle des cycles adaptatifs représente une trame intéressante qu'il est possible d'adapter selon les contextes. Ce modèle général traduit une réalité dans laquelle le système subit des déformations cycliques constituées de différentes phases :

1. une phase de réorganisation qui suit une perturbation,
2. une phase de croissance, de développement ou d'exploitation,
3. une phase de conservation

4. une phase de désorganisation liée à une nouvelle perturbation.

L'exemple applicatif classique est la dynamique d'une forêt. Après la survenue d'un feu de forêt (perturbation), le système se réorganise petit à petit au travers de la colonisation du territoire par les graines qui ont résisté ainsi que des graines venues de l'extérieur (phase 1). Une fois le couvert implanté, il y a une phase de croissance, de développement et d'exploitation (phase 2). Ensuite, il y a une phase de conservation ou de stagnation (phase 3). Enfin, une phase de désorganisation et de perte de fonction survient suite à une nouvelle perturbation (phase 4), et le cycle recommence.

2.2.2 Décrire l'ensemble des états du système possible

Une approche complémentaire consiste à décrire les différents états possibles du système. Une première étape consiste à étudier les états passés du système pour essayer d'en dégager quelques lois de fonctionnement. Il est également utile d'analyser le fonctionnement du système actuel afin de mieux le comprendre. Sur cette base, il convient d'essayer d'anticiper les états futurs potentiels du système.

Une des façons de décrire différents états d'un système est de modéliser ce système. L'action de modélisation consiste à construire une représentation du réel. Cette représentation est nécessairement imparfaite car notre connaissance du réel est lacunaire et simplificatrice pour en faciliter l'analyse. Selon les objectifs poursuivis, il arrive par ailleurs que quelques variables suffisent à représenter de manière satisfaisante la dynamique du système. Toutes variables supplémentaires n'apporteraient alors qu'un bénéfice marginal dans la compréhension et l'analyse de la dynamique du système.

2.3 Anticiper les seuils et les transitions

Toutes les transitions consistent à passer par des points de basculement ou des seuils, qui séparent les différents systèmes. Ainsi, un système peut évoluer de façon progressive et apparaitre relativement stable ou alors changer rapidement. Les changements rapides ou inattendus peuvent limiter les prises de décisions proactives. La transition peut aussi être un objectif qui peut être atteint en définissant des plannings précis, en impliquant les parties prenantes et un jouant de prises de décisions adaptives. Dans ces situations, il est souvent plus utile de définir les facteurs qui vont dans le sens de la transition afin de les actionner plutôt que d'essayer d'estimer de façon précise où se trouvent les seuils.

2.4 Identifier les interactions inter-échelles

2.4.1 Parnarchie, un terme qui décrit des systèmes liés de façon hiérarchique représentés comme des cycles adaptatifs qui interagissent entre différentes échelles.

La panarchie est un terme qui désigne un modèle qui intègre plusieurs systèmes liés entre eux par des liens dont l'importance relative a été hiérarchisée. Les différents systèmes peuvent être représentés par des modèle à cycles adaptatifs (Cf. paragraphe 2.2.1).

Par exemple, la capacité des systèmes à garder des choses en mémoires peut leur permettre d'améliorer leur résilience. Ainsi, le sous système « graine » interagit avec le système « forêt » en étant en quelque sorte sa mémoire génétique, mobilisable au travers de ses réserves. Vu sous un autre angle, cette capacité de mémoire peut être une chose indésirable lorsque le changement est nécessaire. Ainsi, il peut être opportun de trouver des moyens de se déconnecter des échelles connexes (plus petites ou plus larges) pour favoriser l'émergence de nouvelles idées et de nouvelles pratiques.

D'un point de vue du management, il peut être utile de ne pas trop interférer dans le fonctionnement de sous systèmes afin de laisser se faire l'innovation et la différenciation et ainsi améliorer la résilience. Au contraire, une multitude de petits systèmes étroitement enchevêtrés ensemble peut être

révélateur de vulnérabilité à l'échelle de l'ensemble du système d'étude. En effet, une perturbation pourra alors se répandre rapidement dans tout le système et générer ainsi de graves dommages par effet-domino.

2.4.2 Interactions entre les seuils et réactions en cascades.

Au fur et à mesure qu'un système décline, l'intensité de perturbation nécessaire au changement d'état du système diminue. Autrement dit, certaines valeurs de seuil sont dépendantes de l'état du système. Dans l'analyse de la résilience, savoir si un seuil est dépendant d'autres variables ou non constitue une information utile.

2.5 Distinguer la résilience spécifique et la résilience générale

La résilience spécifique est définie par un objet spécifique et une perturbation donnée (résilience de quoi, à quoi ?). La résilience générale n'est pas liée à un type de système ou à un type de perturbation.

Si on sait ou suspecte qu'il y ait des effets de seuil alors il est indispensable de se poser la question de la résilience spécifique.

Il est important de faire la distinction entre la résilience spécifique et la résilience générale. En effet, si on concentre les moyens pour augmenter la résilience d'une partie du système à une perturbation donnée, il se peut alors que la résilience de l'ensemble du système soit au contraire dégradée. Par exemple, si la modification du système pour améliorer la résilience spécifique aboutit à la diminution d'élément de redondance alors la résilience de l'ensemble du système à des perturbations inattendues est affaiblit. Ainsi, il est important d'examiner à la fois la résilience spécifique et la résilience générale.

Il est relativement faisable d'estimer le coût de la résilience (coût de la redondance par exemple). En revanche, il est très dur d'estimer le coût de sa suppression car il est difficile d'évaluer le coût associé à la survenu d'un aléa. C'est une raison pour laquelle, dans un contexte d'optimisation économique, il est possible de voir la résilience diminuer.

2.6 Analyser le système de gouvernance

Les systèmes de gouvernance sont des entités dynamiques qui impliquent plusieurs institutions et parties prenantes et qui sont liées à différents secteurs, et ce à différentes échelles.

2.6.1 Le lien social existant entre les parties prenantes

La gestion de la gouvernance nécessite une bonne coopération entre les différentes parties prenantes. Celle-ci peut être facilitée par la bonne compréhension du réseau social dans lequel sont intégrées les parties prenantes. Les processus de partage d'informations, d'accès aux ressources et de collaborations peuvent influencer la dynamique du système et ainsi améliorer sa résilience.

2.6.2 Gouvernance adaptative et institutions

Des gouvernances qui vont favoriser la collaboration, l'échange d'information et l'accès aux ressources pour tous favorisera la résilience du système.

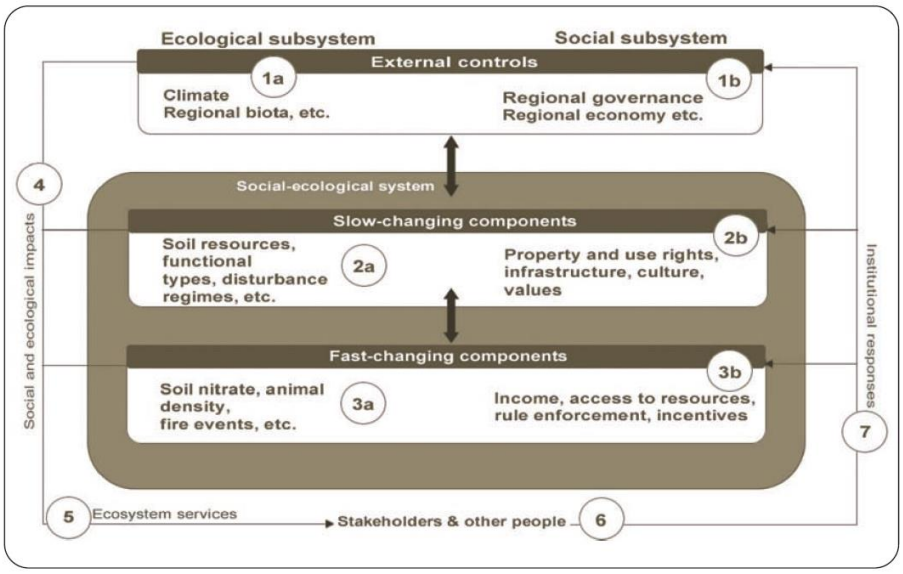
Un élément clef de la résilience générale est la redondance. Ainsi, dupliquer les compétences ainsi que les acteurs clefs permet à la fois au système de continuer de fonctionner lorsqu'une de ses parties est dégradée mais permet également de faire émerger de nouvelles idées ou des points de vue différents. Les compétences ainsi que les acteurs clefs ne doivent pas être liés ou dépendantes les uns aux autres au risque d'entrainer des effets-domino négatifs lors de la survenue d'une perturbation.

2.7 Synthétiser les résultats de l'évaluation

La Figure 6Figure 1 et Figure 7 expose le cadre général d'un modèle conceptuel de système socio-écologique. Ce schéma synthétise les différents points à considérer lors de l'étude d'un système pour

en évaluer la résilience : il s'agit de comprendre les interactions, les dynamiques ainsi que les différents seuils d'intérêt.

Figure 6 : modèle conceptuel général d'un socio-écosystème.



Construire le digramme général qui synthétise l'ensemble des éléments collectés et analysés lors de l'évaluation est un processus itératif qui nécessitera de nombreuses reprises et multiples peaufinages. En aucun cas il ne s'agit d'un cadre rigide. La synthèse réalisée sera propre à chaque système socio-écologique, elle produira son propre corpus de questions, des propositions d'interventions spécifiques et des stratégies adaptées.

Figure 7 : guide des questions à poser pour la construction d'un modèle conceptuel de socio-écosystèmes.

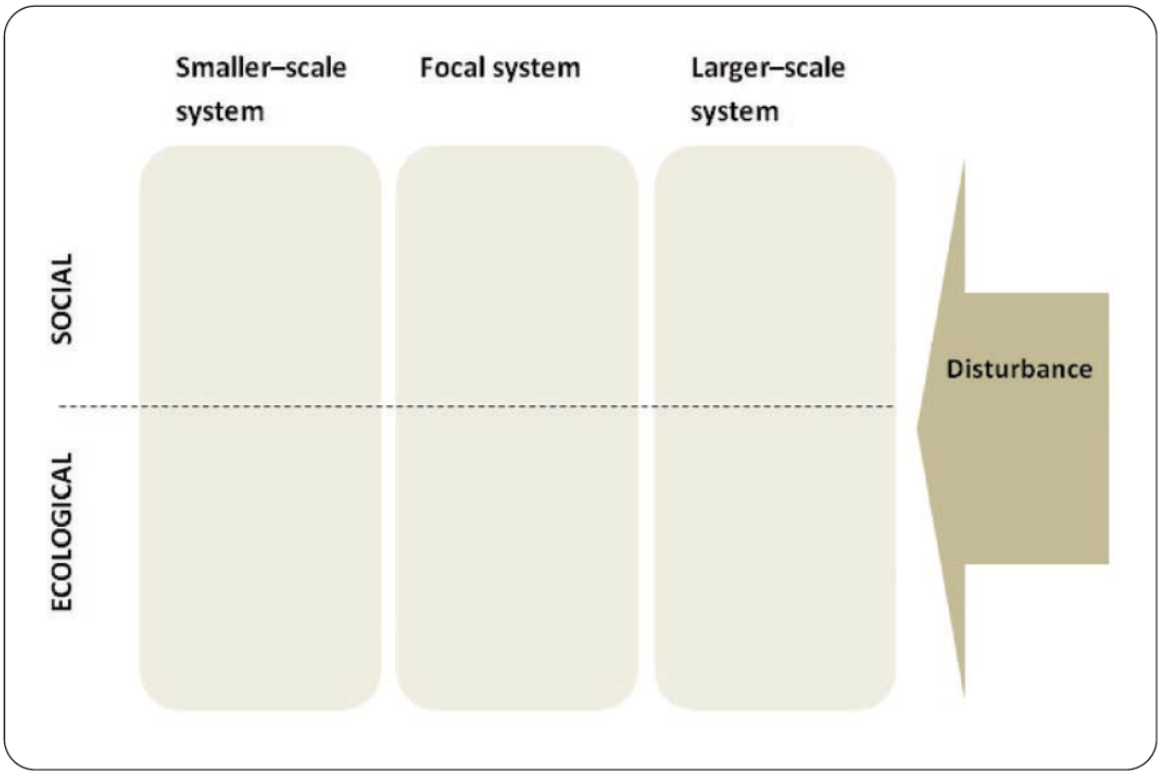
Refer to Section	*Guiding questions for reflection*
1.1	What are the environmental and social impacts of the main issue(s) that was identified? *[4]*
1.2	Considering the main resource use(s) that is central to the main issue, what are the key ecological components of the natural resource that change relatively slowly over time (e.g., trees are a slow variable relative to fire or pest invasions)? *[2a]* What are the key ecological components of the natural resource that change relatively fast over time? *[3a]* Who are the key stakeholders and what role(s) do they play in the system? *[6]* What are the main ecosystem services that are most important to stakeholders and others? *[5]*
1.3	What is known (in summary) about the main disturbance regime(s) of the system? *[2a]* What are the main disturbance events? *[3a]* What are the social and ecological impacts of disturbances in the system? *[4]*
1.4	What are the larger-scale external controls that interact in a significant way with the focal system? *[1a & 1b]* Are there smaller nested systems that affect any of the faster-changing components of the focal system? *[3a & 3b]* How do current institutional responses differ from those in the past? *[7]*
2.1	Referring to the adaptive cycle diagram developed in Section 2.1, are there key system components that change relatively slowly or quickly and that should be added to the SES model? *[2a&b, 3a&b]* If the adaptive cycle exercise revealed any new insights into social and ecological impacts or institutional responses, add these to the model. *[4 & 7]*
2.2	The rule of hand challenges the analyst to reduce the number of key variables that define a system state. Without oversimplifying, are there components of the SES that you might want to remove or set aside from the model? *[2a&b, 3a&b]*
4.1	Is decision-making taking place at larger scales (external to the focal system) that significantly impacts your focal system? *[1b]* Are there power dynamics in the social domain of your focal system that significantly influence how the system is structured and how it functions? *[2b, 3b, 7]*

Un deuxième diagramme pourra être produit (Figure 8 et Figure 9) qui se concentrera sur les potentiels seuils critiques ainsi que les principales variables clefs du système. Ces variables sont représentées à toutes les échelles et les liens entre ces variables doivent être formalisées, mettant ainsi en avant les interactions potentielles entre certains seuils critiques. Ainsi, l'objectif est notamment de mettre en avant des potentiel effets en cascades. Il s'agit également d'identifier les caractéristiques du système qui améliorent ou dégradent la résilience générale du système. Là encore, il s'agit d'un cadre flexible qui doit être adapté à chaque évaluation réalisée.

Figure 8 : guide des questions à poser pour la construction d'un diagramme de seuils et d'interactions.

Refer to Section	Guiding questions for reflection
2.2	What are the key slow variables associated with thresholds that are (or would be) responsible for a shift between the alternate states that you identified previously? At what scale do these slow variables operate?
2.3	Reviewing your list of potential thresholds of concern, identify the thresholds associated with slowly changing variables. If your list of slow-variable potential thresholds includes primarily social or primarily ecological variables, challenge yourself to consider additional potential thresholds in the ecological domain. Are there any thresholds that you may have overlooked because of the level of expertise of those conducting the assessment? What are the system disturbances identified earlier that might move the system closer to a threshold? Indicate on the thresholds and interactions diagram any potential interactions that you identified previously.
3.1	Do any of the cross-scale interactions that you identified previously in Section 3.1 involve the slowly changing variables included on your draft interactions and thresholds diagram?
3.2	Review your list of thresholds and interactions from Section 3.2 and apply this information to a full revision of your diagram thus far. You may want to codify the thresholds to indicate the level of certainty associated with each threshold or to vary the weight of the interaction lines based on your understanding of the likelihood or impact of specific interactions.
3.3	Are there potential slow-variable thresholds that you previously identified with respect to general system resilience?
4.0	What role does the governance of your focal system play in the potential for crossing or avoidance of slow-variable thresholds in your diagram?

Figure 9 : exemple de mise en forme d'un digramme de seuils et d'interactions.



2.8 Gérer la résilience de manière opérationnelle

Bien que la résilience doive être évaluée autant que possible de façon très spécifique au système étudié et ce dans son contexte propre, il est tout de même possible de dégager des lignes générales qui sont autant de guides pour évaluer en première approche la résilience et la gérer. L'objectif général est alors de maintenir la capacité du système à fournir des bénéfices à la société. La question de la nature des bénéfices ainsi que la question des bénéficiaires sont des sujets fondamentaux qui nécessitent l'implication des parties prenantes. La Figure 10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** expose une liste de quatre catégories de stratégies permettant d'améliorer la résilience des systèmes socio-écologiques accompagnées de quelques exemples.

Figure 10 : exemples de stratégies de gouvernance permettant d'améliorer la résilience des socio-écosystèmes.

Foster biological, economic, and cultural diversity
- Prioritize conservation of biodiversity hotspots and locations and pathways that enable species to adjust to rapid environmental change
- Retain genetic and species diversity that are underrepresented in today's landscapes
- Exercise extreme caution when considering assisted migration
- Renew the functional diversity of degraded systems
- Foster retention of stories that illustrate past patterns of adaptation to change
- Subsidize innovations that foster economic novelty and diversity

Foster a mix of stabilizing feedbacks and creative renewal
- Foster stabilizing feedbacks that sustain natural and social capital
- Allow disturbances that permit the system to adjust to changes in underlying control variables
- Exercise extreme caution in experiments that perturb a system larger than the jurisdiction of management

Foster social learning through experimentation and innovation
- Broaden the problem definition by learning from multiple cultural and disciplinary perspectives and facilitating dialogue and knowledge co-production by multiple groups of stakeholders
- Use scenarios and simulations to explore consequences of alternative policy options
- Test understanding through experimentation and adaptive co-management
- Explore system dynamics through synthesis of broad comparisons of multiple management regimes applied in different environmental and cultural contexts

Adapt governance to changing conditions
- Provide an environment for leadership to emerge and for trust to develop
- Specify rights through formal and informal institutions that recognize needs for communities to pursue livelihoods and well-being
- Foster social networking that bridges communication and builds accountability among existing organizations
- Permit sufficient overlap in responsibility among organizations to allow redundancy in policy implementation

Maintenant que nous avons bien compris ce qui faisait l'essence de la résilience ainsi que les différents éléments qui la constituent, il convient d'étudier la manière dont il est possible d'appliquer ce concept et de déployer son évaluation pour l'agriculture.

3 Adaptation du concept de résilience à l'agriculture : état des lieux

L'objet de cette partie sera de faire le point sur les différents articles scientifiques ainsi que les études qui traitent de la résilience de l'agriculture. Nous verrons la manière dont la résilience ou des concepts connexes tels que la vulnérabilité ou la robustesse peuvent être évalués.

3.1 Approche empirique vs approche théorique

Plusieurs articles scientifiques et techniques traitent de la résilience en agriculture. Nous en avons identifié 4 : 2 articles (source 4 et source 23) cherchent à identifier des déterminants de la « résilience » sur une base empirique : sont identifiées a posteriori les caractéristiques des parcelles, fermes ou territoires qui voient leurs performances se maintenir ou se rétablir rapidement suite à un choc. Les performances sont évaluées sur la base d'indicateurs couramment utilisés dans la littérature, tels que le revenu disponible par UMO, le niveau de rendement ou encore la variabilité du rendement. D'une certaine manière, on évalue la résilience avec les données qui sont à disposition. En aucun cas cette méthode a pour objectif d'évaluer de façon exhaustive et complète la résilience du système. 2 autres articles (source 14 et 32) proposent un cadre méthodologique opérationnel qui, sans nécessairement être parfait, prétend en revanche à une certaine complétude. La résilience de l'agriculture est alors évaluée sur la base de déterminants qui ont été définis indépendamment de l'évaluation en elle-même. Ces déterminants procèdent directement de l'analyse théorique du concept de résilience et sont définis de telle manière à rendre opérant le concept préalablement établi. Il en résulte une plus grande complexité de mise en œuvre, d'analyse et d'interprétation des résultats. Par ailleurs, comme

toute approche théorique qui n'est pas validé par l'expérience, il est toujours possible de la remettre en cause, ou du moins de critiquer la pertinence de certains de ses composants.

3.2 Les enseignements des approches empiriques

3.2.1 Influence de la diversité et du niveau d'intensification sur la vulnérabilité, la résilience et la robustesse des systèmes agricoles (DARDONVILLE, 2020).

La source 4 teste, au travers d'une analyse de la littérature scientifique, l'hypothèse selon laquelle la diversité et le niveau d'intensification sont des variables explicatives de la vulnérabilité, la résilience et la robustesse (VRR) des systèmes agricoles. L'étude de la VRR, et non de la résilience seule, permet d'intégrer un plus large spectre d'articles dans la revue bibliographique. M. Dardonville indique tout d'abord que **peu d'études quantitatives** sur la vulnérabilité**,** la résilience et la robustesse de l'agriculture **ont pu être identifiées**. Par ailleurs, la plupart de ces études se focalisent sur certains types de systèmes, certains types de perturbations et sur certains attributs de la performance. 65% des articles étudiés abordent le sujet via la question du changement climatique. Les systèmes de prairies et de grandes cultures représentent 75% des articles étudiés et les échelles analysées sont la parcelle (38%), la ferme (35%) et la région (27%). Les études se focalisent sur les impacts sur les rendements (72%) et sur la marge économique nette (16%). Enfin, la diversité et l'intensification sont les facteurs explicatifs les plus testés.

L'analyse porte finalement sur 37 articles scientifiques et fournit 506 résultats individuels, correspondant à des tendances d'impacts (positif, négatif ou neutre) de facteurs explicatifs sur des attributs de la performance.

Différents enseignements peuvent alors être tirés.

<u>Effet d'une perturbation climatique (hautes températures et faibles précipitations) sur la dynamique de rendements (niveau et variabilité) :</u>

- Quel que soit le niveau de production des prairies, une perturbation climatique (haute température et faible précipitation) entraine une baisse des rendements et une hausse de leurs variabilités.
- S'agissant des cultures, l'effet d'une perturbation climatique est moins univoque. 55% des résultats seulement montrent un effet négatif de la perturbation (températures élevées et précipitations faibles) sur les rendements. Lorsque l'effet de la perturbation est positif, cela pourrait être dû à l'irrigation qui est alors mise en place, allant alors de pair avec un bon niveau de fertilisation.
- A un niveau régional, nous constations que les régions les plus soumises à des perturbations climatiques sont celles qui souffre le moins de ces perturbations mettant en évidence un phénomène d'adaptation de la part des agriculteurs.

<u>Effet d'une perturbation climatique (hautes températures et faibles précipitations) sur la dynamique de rendements (niveau et variabilité), selon le niveau de diversité de la prairie ou de la rotation culturale :</u>

La corrélation entre la diversité du contenu des prairies (espèces, génétiques, fonctions) et la résilience du rendement n'est pas bien établie et nécessiterait la réalisation d'études complémentaires. Quelques éléments ressortent cependant des résultats observés.

- La diversité d'espèces dans les prairies est associée à des niveaux de rendements plus élevés.

- En revanche, la diversité n'entraine pas toujours une meilleure résistance du rendement face à une perturbation climatique. Ce serait le cas plus spécifiquement lorsque les perturbations climatiques sont répétées dans le temps.
- Les légumineuses réduisent la résistance du rendement sauf les pois qui l'augmentent. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'association d'espèce augmente la prise d'eau diminuant ainsi la disponibilité en eau dans les sols.
- Dans les publications analysées, la diversité du contenu prairial ne présente pas d'impact ou alors un impact négatif sur le temps de récupération du rendement.

S'agissant des cultures, l'effet de la diversité (dans la rotation) est plus clair que dans le cas des prairies. Dans 76% des cas, la diversité a un effet positif sur la dynamique de rendement. A l'échelle de la parcelle, la diversité a un effet positif sur le niveau de rendement mais un effet négatif sur la variabilité de celui-ci. A une échelle régionale, la diversité des types de fermes (tailles, taux de couverture des sols) est corrélée à une variabilité plus faible des rendements. Cependant, la diversité des occupations des sols peut accroitre la variabilité de rendements. Enfin, une étude montre que l'effet négatif des hautes températures est accru pour les grandes fermes, tout en spécifiant que ce résultat peut-être dû à une moindre aversion aux risques de la part de cette population spécifique d'agriculteurs.

<u>Effet de la composition des prairies et des rotations de cultures sur la VRR :</u>

Si on distingue les résultats selon les espèces présentes, on se rend compte qu'est c'est surtout là ou l'espèce est bien adaptée aux évènement climatique extrême que la résilience est la meilleure.

(BARKAOUI, 2016) met en évidence le rôle des caractéristiques fonctionnelles du système racinaire en tant que tel, plus que la diversité des systèmes racinaires, dans la résilience d'un couvert végétal. En effet, la distribution des racines en profondeur et leurs morphologies déterminent le volume d'eau que le couvert pourra aller puiser dans le sol. Par exemple, les couverts aux racines profondes résisteront davantage aux sécheresses et récupéreront ainsi plus rapidement.

De la même façon, (CARLSON, 2017) montre qu'un groupe d'espèces aux fonctionnalités similaires peuvent mieux résister aux sécheresses qu'un groupe diversifié. Ils montrent aussi que des prairies de graminées peuvent mieux résister que des prairies avec une proportion significative de fleurs ou de légumineuses. (PFISTERER, 2002) montre enfin qu'une forte proportion de paturin dans les prairies serait associée à une meilleure résistance des rendements.

Les effets spécifiques des légumineuses ont également été étudiés (PFISTERER, 2002) et (CARLSON, 2017). Il apparait que la quantité de légumineuses peut faire baisser la résistance du rendement à la sécheresse. A contrario, l'intégration de légumineuses dans les rotations de cultures améliore le niveau et la stabilité des rendements, avec des nuances selon le type de légumineuse.

<u>Effet du niveau d'utilisation d'intrants sur la VRR :</u>

Le niveau d'intensification n'est pas lié à une meilleure dynamique de rendement :

- Les pratiques de fertilisation, d'application de fongicides ou d'insecticides et de labour sont associés à des rendements plus élevés mais sans effet sur leur niveau de stabilité.

<u>Lorsque l'on mixe toutes les études :</u>

La Figure 11 répertorie les résultats des publications selon que l'effet du facteur étudié est positif ou négatif sur la dynamique de rendement. La Figure 12 quant à elle répertorie les résultats des publications selon que l'effet du facteur étudié est positif ou négatif sur la marge économique nette.

- Pour les perturbation exogène (politique d'accompagnement et marché porteur), l'effet sur la dynamique de rendement est positif.
- Seulement 45% des études montrent un effet positif de la diversité et de l'intensification.
- Pas d'effet clair de l'adaptation du système (par exemple diminuer la spécialisation d'un système agricole ou l'inverse) sur la performance.
- Pour les autres facteurs explicatifs les résultats ne sont tranchés ni dans un sens ni dans l'autre.

Figure 11 : effet de divers facteurs explicatifs sur la dynamique de rendement

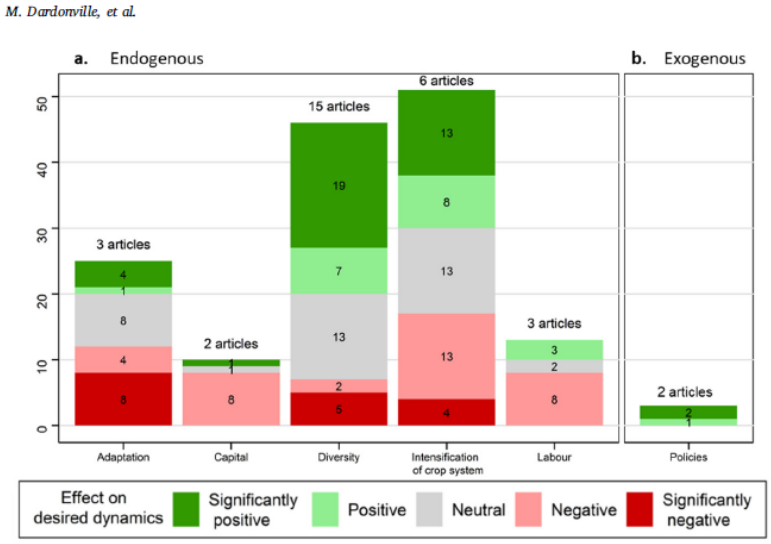
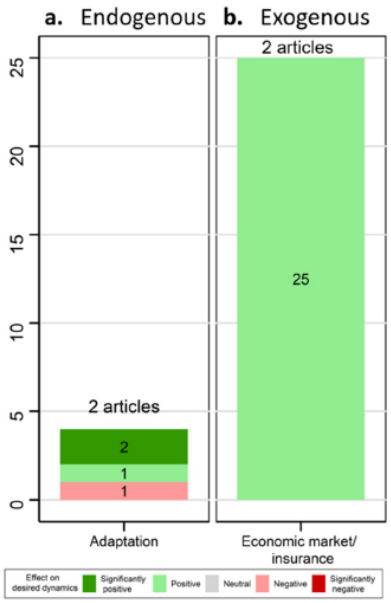


Figure 12 : effet de divers facteurs explicatifs sur la dynamique de profitabilité du système agricole



Le résultat correspondant à un effet négatif de l'adaptation sur la dynamique de rendement est associé à la capacité limitée des progrès technologiques à atténuer les effets d'une perturbation sur les rendements.

Dans sa conclusion, l'auteure met en avant les éléments de résilience et de robustesse au changement climatique suivants :

A l'échelle de la parcelle et de la ferme :

- La diversité fonctionnelle des espèces
- Un niveau d'intensification approprié à la situation de production
- Des politiques de stabilisation des revenus des agriculteurs, des payements directs, des investissements dans les infrastructures agricoles
- La mise en place de systèmes assuranciels

A l'échelle régionale, une diversité des fermes en termes de tailles économiques.

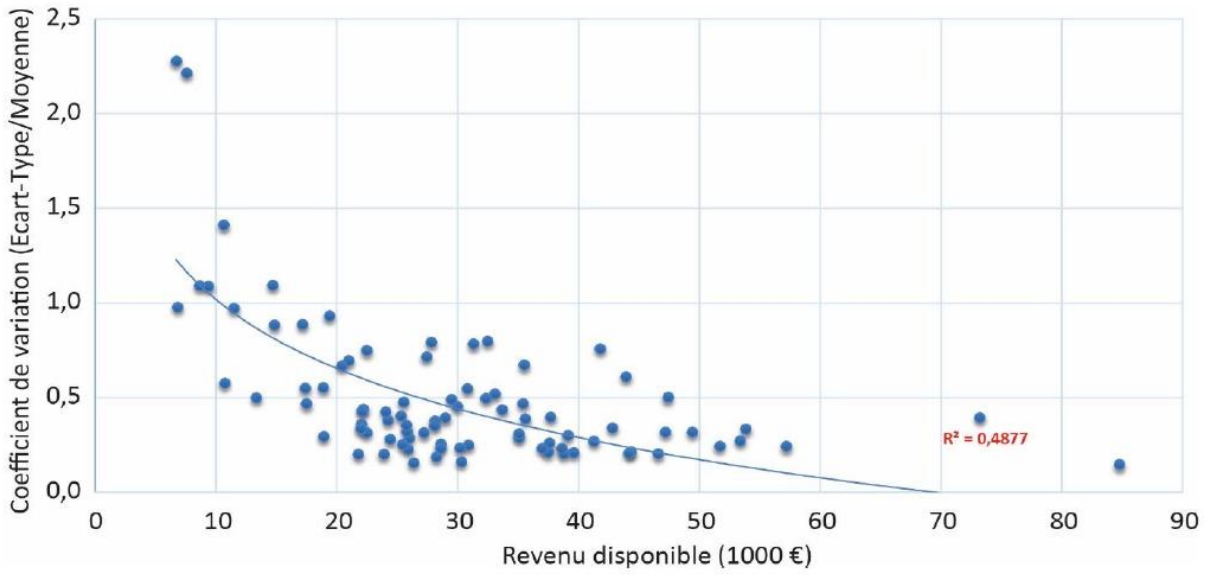
3.2.2 Regards sur la résilience des exploitations du réseau INOSYS, Idele (IDELE, Les éleveurs bovins lait face aux crises et aux aléas, regards sur la résilience des exploitations du réseau INOSYS-Réseaux d'élevage, 2017).

L'Institut de l'élevage (Idele) propose une étude dans laquelle, sont couplées deux approches : une première approche quantitative qui repose sur l'analyse de la base de données issues du réseau Inosys, et une seconde approche qualitative qui repose sur des interviews et séances de travail avec des groupes d'éleveurs, permettant ainsi de palier aux manques de l'approche quantitative seule.

Sur la base des données collectées au travers du réseau INOSYS, l'Idele a pu évaluer la réponse de cet indicateur sur 300 exploitations bovines laitières face à plusieurs aléas de diverses natures (sécheresse, PAC découplage, zoonose, volatilité des prix, fin des quotas).

Le premier enseignement original tiré de l'analyse de ces données est que de hauts niveaux de revenu par UMO correspondent à des revenus plus constants au cours du temps (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ce résultat soutient l'idée que l'indicateur « revenu par UMO » est un indicateur intéressant de résilience.

Figure 13 : corrélation entre revenu disponible moyen 2007-2013 et variabilité interannuelle du revenu (exemple des exploitations laitières spécialisées de plaine), (IDELE, Les éleveurs bovins lait face aux crises et aux aléas, regards sur la résilience des exploitations du réseau INOSYS-Réseaux d'élevage, 2017)



Sur cette base, certaines caractéristiques des exploitations apparaissent associées à la « résilience ». Il s'agit des exploitations laitières :

- de polyculture élevage
- de grande taille
- ayant une bonne productivité du travail apparente (litres de lait / UMO)
- une productivité laitière plus importante (+180 à +725 litres/VL/an), sauf en système de plaine où la productivité laitière n'est pas liée à la « résilience »
- plus de lait produit par ha de SFP
- plus de chargement apparent (UGB/ha SFP)
- l'âge au premier vêlage ainsi que l'intervalle vêlage-vêlage plus faible
- une plus forte utilisation d'azote minérale (unité d'azote par ha)
- ayant une efficacité économique plus forte (EBE/PB)
- un ratio annuité / EBE plus faible
- un recours salarié plus fréquente que la moyenne

Les résultats de résilience en fonction de l'autonomie et les pratiques autonomes diffèrent selon les types de systèmes : si les systèmes spécialisés et mixtes bovins viande semblent être plus résilients lorsqu'ils sont plus autonomes en concentré, c'est l'inverse pour les exploitations de polyculture élevage. En plaine, les exploitations les plus résilientes sont celles qui consomment le moins de concentrés et qui présentent l'efficacité alimentaire la plus forte.

L'autonomie fourragère n'est corrélée à la résilience qu'au sein de certains systèmes (spécialisé de plaine, piémont/montagne).

L'Idele a également mené cette étude sur les systèmes bovins viande et aboutit à des conclusions similaires (IDELE, La résilience des systèmes bovins viande face aux aléas).

3.3 Les enseignements des approches théoriques

Le programme de recherche européen SURE FARM se base sur l'analyse du concept de résilience définit par (MEUWISSEN, 2019). La résilience des systèmes agricoles est ici vu comme la capacité à assurer le maintien des fonctions du système face à des stress. Cette capacité peut se décliner en trois sous capacités que sont la robustesse, l'adaptabilité et la transformabilité. Chacune de ces capacités sont ensuite caractérisées par des attributs qui peuvent être multiples et peuvent être ajustés selon le cas d'étude (Figure 14).

Figure 14 : exemple d'attributs de la résilience classés par capacité et par thématique, SURE-Farm

Process	Robustness	Adaptability	Transformability
Demographics	Flexibility with respect to labour resources, incl. access to labour resources	Diversity of labour, incl. new entrants	High level of social and human capital
Agricultural practices	Available buffer resources for production	Heterogeneity of farm types	Region diversification
Governance	Access to financial resources	Responsive regulation; investment subsidies	Flexible norms, legislation and regulatory framework
Risk management	Insurance	Diversification	Diversity and flexibility of risk management tools

La Figure 15 expose un extrait d'un travail de recherche appliqué à un cas concret. Les éléments permettant de renseigner la trame méthodologique sont issus d'un panel de méthodes quantitatives

et qualitatives, d'ateliers de travail avec parties prenantes, une analyse méthodique des documents descriptifs des politiques publiques nationales et régionales, des interviews approfondies avec les agriculteurs et les membres de leur foyer, des ateliers spécifiques sur la question du travail et enfin un travail d'enquête.

Figure 15 : extrait d'une méta-analyse portant sur les résultats issus de plusieurs méthodes à trois échelles d'un système de grandes cultures néerlandais, (HERRERA, 2018)

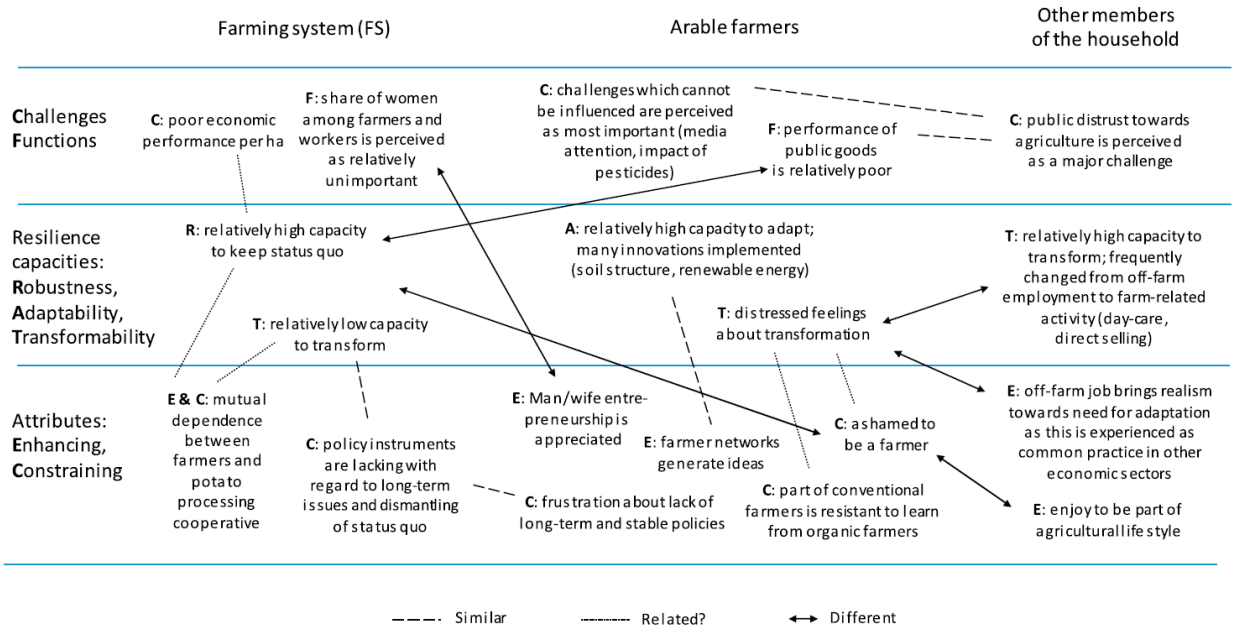
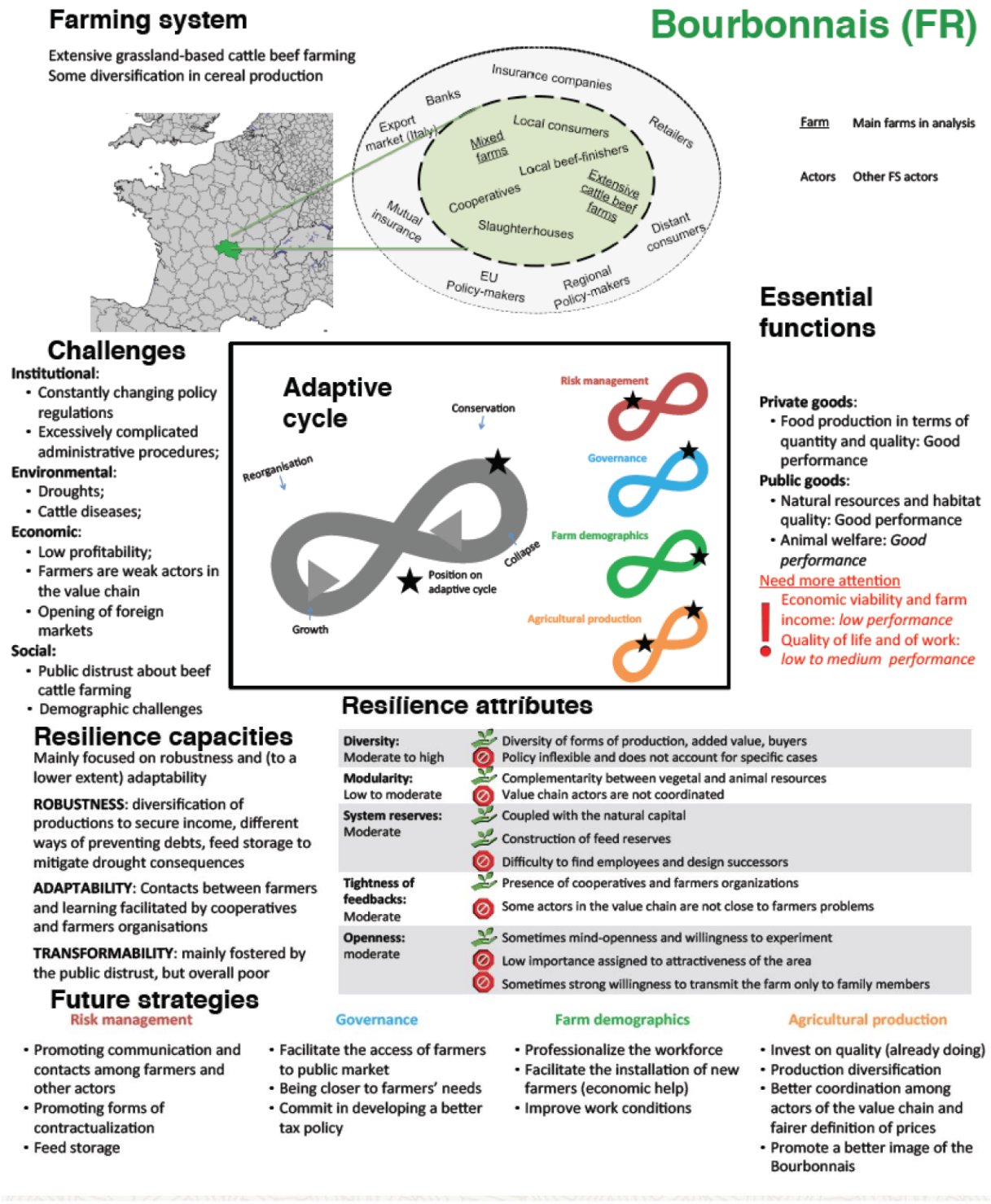


Fig. 5. Snapshot of meta-analysis across findings from multiple methods at three levels of Dutch arable farming system in Veenkoloniën.

3.3.1 Exemple de l'évaluation de la résilience de l'agriculture du Bourbonnais

Enfin, la Figure 16 présente un poster exposant les résultats d'une évaluation de la résilience de l'agriculture du Bourbonnais qui est constituée principalement d'élevages extensifs de bovins viande pour la consommation nationale et pour l'export. De la même manière que dans l'exemple cité par (MEUWISSEN, 2019), les défis, fonctions ainsi que les capacités et attributs de résilience ont été définis grâce à des séries d'enquêtes, d'interviews, d'atelier de travail, des focus groupes et des analyses de données. Les défis (ou perturbations) identifiées sont les sécheresses à répétition, le stress économique, la difficulté à trouver des successeurs ainsi que le regard critique du public sur les modes de productions actuels.

Figure 16 : poster exposant les résultats d'une analyse de résilience du système agricole du Bourdonnais en France (principalement production extensive de bovins viande), (REIDSMA, 2017)



Dans le cadre du programme SURE-Farm (HERRERA, 2018), les modèles informatiques ont permis d'aider à la compréhension de la résilience des exploitations agricoles. Pour être utiles, les modèles doivent être suffisamment complexes et multidimensionnels. Cependant, aucun modèle est à même à lui seul de fournir suffisamment d'informations pour produire une évaluation complète et intégrée de la résilience. La Figure 17 expose le degré avec lequel chaque modèle identifié est en mesure d'explorer des attributs de la résilience.

Figure 17 : analyse de l'apport des modèles informatiques au regard des trois capacités associées à la résilience, (HERRERA, 2018).

Resilience Indicators	Resilience Attributes	AgriPoliS	FSSIM	Stochastic model	Ecosystem services model	Statistical models	FoPIA-SURE Farm	System Dynamics
Robustness	Flexibility with respect to labour resources	1	3	-		3	1	2
	Available buffer resources for production	1	3		1	3	1	3
	Access to financial resources	3	2	3		2	1	3
	Insurance		1	2		2	1	1
Adaptability	Diversity of labour, incl. new entrants		1				1	
	Heterogeneity of farm types	3	2	1	2	2	1	1
	Responsive regulation; investment subsidies	2	1			1	1	1
	Diversification	2		1	2			
Transformability	High level of social and human capital	1	2				1	2
	Region diversification	1			2	1	1	
	Flexible norms, legislation and regulatory framework						1	1
	Diversity and flexibility of risk management tools	1		1		1	1	

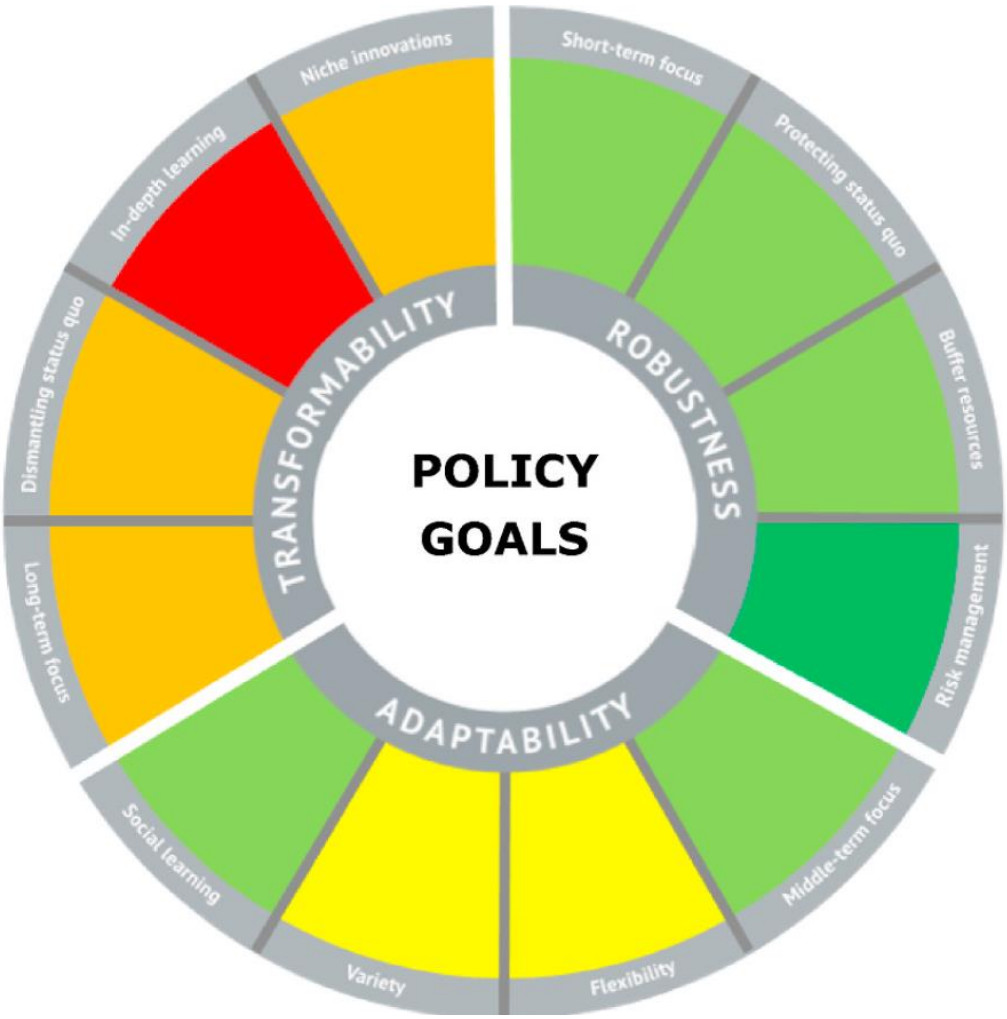
***Note**: 3=model provides in depth analysis and/ or this attribute is a core functionality of the model, 2=is part of the model functionality but not in depth, 1=the model can offer a high-level perspective about this function.*

3.3.2 Evaluation de l'impact de la PAC sur la résilience des exploitations agricoles : application le l'outil d'évaluation de la résilience (ResAT) à un cas-type au Pays-Bas.

Cette étude fournit une analyse des effets de la PAC et de sa déclinaison nationale sur la résilience d'un système agricole type de grandes cultures aux Pays-Bas (BUITENHUIS, 2020). Pour ce faire, l'outil ResAT (Resilience Assessment Tool) a été mis en œuvre. Celui-ci est structuré au travers des 3 capacités des systèmes résilients : la robustesse, l'adaptabilité et la transformabilité déclinées chacune en 4 indicateurs (Figure 18).

Il apparait dans cette étude que la PAC améliore la robustesse du système agricole (cadrans verts), qu'elle n'améliore presque pas son adaptabilité (autant de cadrans verts que jaunes) et qu'elle contraint plutôt sa transformabilité (cadrans jaunes et rouge).

Figure 18 : The Resilience Assessment Tool (ResAT) appliqué aux effets de la politique agricole commune sur une exploitation type de grandes cultures au Pays-Bas, *(BUITENHUIS, 2020)*.



Legend ResAT wheels						
Colour	None	Red	Orange	Yellow	Light green	Dark green
Score	0	1	2	3	4	5
Assessment	Not clear	Constraining / not enabling	Fairly constraining / slightly enabling	Partly enabling / partly constraining	Fairly enabling / slightly constraining	Enabling / not constraining

Fig. 3. *ResAT wheels for policy goals (left) and policy instruments (right) for intensive arable farming in De Veenkoloniën.*

Conclusion

Le mot « résilience » incarne la croyance qu'il est possible de résister à un environnement maltraitant et de faire d'un événement traumatique, individuel ou collectif, un nouveau départ (TISSERON S. , 2021). Le potentiel de séduction que recèle cette idée doit nous amener à faire preuve d'autant plus d'exigence et de rigueur lors de sa traduction en concepts scientifiques, en méthodes d'évaluations et en recommandations techniques. Ainsi, nous avons proposé une définition qui nous semble la plus complète et précise possible (TISSERON S. , 2021) : un système résilient est en état d'équilibre dynamique (métastabilité) et il est capable de faire face à un bouleversement en combinant quatre qualités :

1. se préparer et anticiper les perturbations grâce à la veille et à la prospective
2. résister aux aléas pour en minimiser les effets
3. se relever et rebondir grâce à l'apprentissage, l'adaptation et l'innovation en profitant des bouleversements qui sont survenus pour envisager un développement sur des bases moins vulnérables
4. évoluer vers un nouvel état en équilibre dynamique en réduisant les conséquences physiques et psychiques des perturbations.

Enfin, nous avons retenu **la méthode décrite par l'organisation ResillienceAlliance qui propose un cadre extrêmement complet et porté vers l'opérationnalité** afin d'évaluer la résilience des socio-écosystèmes. Celui-ci correspond au cheminement suivant :

1. définir les limites spatiales et temporelles du système, les interactions entre les composants, les interactions avec l'extérieur, les interactions inter-échelles
2. comprendre la dynamique du système
3. anticiper les seuils et les transitions
4. identifier les interactions inter-échelles
5. distinguer la résilience spécifique et la résilience générale
6. analyser le système de gouvernance
7. synthétiser les résultats de l'évaluation

Ce cadre méthodologique est repris entièrement ou pour partie dans le cadre de certains travaux scientifiques qui portent plus spécifiquement sur l'évaluation de la résilience de l'agriculture et qui privilégient l'évaluation via une approche théorique. Les résultats obtenus prennent alors la forme de diagrammes, de grilles ou de posters. Ils synthétisent des résultats issus de modélisations quantitatives mais regroupent surtout des informations semi-quantitatives ou qualitatives. Ces études ont pour objectif de mettre en exergue les caractéristiques propres au système étudié justifiant d'un plus fort niveau de résilience. Ces caractéristiques s'inscrivent dans un cadre théorique qui intègre les mécanismes reliant ces caractéristiques (ou attributs) à un niveau de résilience effectivement plus élevé.

Il existe également des travaux privilégiant une approche empirique consistant à identifier les caractéristiques des systèmes agricoles dont le degré de structuration et la continuité de l'organisation (mesurés au travers de la dynamique de rendement ou encore du revenu) a historiquement le moins pâti de chocs ou d'aléas divers (sécheresses, aléas de marché). Cette méthode d'analyse de la résilience, et en premier lieu le choix des indicateurs de résilience retenus, dépend bien entendu directement du contenu des bases de données existantes. Ainsi, cette méthode ne prétend pas à elle seule évaluer la résilience de manière complète. Pour autant, il est par exemple possible d'étayer le choix de l'indicateur de revenu comme indicateur de « résilience » pour les exploitations laitières. En effet, la variabilité du revenu par UMO diminue alors que le niveau de revenu augmente. Ainsi,

plusieurs caractéristiques d'exploitations laitières apparaissent associées à de plus forts niveaux de « résilience » telles que des exploitations de grande taille, ayant une bonne productivité du travail apparente (litres de lait / UMO) et présentant une productivité laitière plus importante (+180 à +725 litres/VL/an). Si ces moyennes nationales, par région ou par système, sont utiles en première analyse, elles doivent être complétées par une compréhension des mécanismes sous-jacents faisant le lien entre ces caractéristiques et un niveau de revenus effectivement plus élevé (la corrélation ne garantissant pas un lien de cause à effet).

D'un point de vue opérationnel, la méthode proposée par ResilienceAlliance permet une approche complète et applicable à toutes les échelles. Elle nécessite en revanche un temps de travail très conséquent. Des approches par modélisation peuvent permettre de réduire le niveau de ressources à allouer à une telle analyse. Cependant, les travaux de modélisation doivent être complétés par une analyse, même rapide, **de l'ensemble des attributs de la résilience**. Une attention particulière doit être portée à l'état des attributs de résilience générale (disponibilité et accès aux ressources clefs telles que les ressources en main d'œuvre ou encore en énergie, redondance des infrastructures et des compétences, procédure de vérifications et de validations, etc).

Bibliographie

(2021). Récupéré sur Wikipedia: https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_d%27activation

ALTINTAS, G. (2009). *Renforcement de la resilience par un apprentissage post-crise : une etude longitudinale sur deux periodes de turbulence*. Récupéré sur CARN.INFO MATIERE A REFLEXION: https://www.cairn.info/revue-management-2009-4-page-266.htm

ANAUT, M. (2003). La résilience, Surmonter les traumatismes. *Nathan*.

BARKAOUI. (2016). Mean root trait more than root trait diversity determines drought resilience in native and cultivated Mediterranean grass mixtures. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 122-132.

BERKES. (1998). Linking Social and Ecological Systems. Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience. *Cambridge University Press.*

BUITENHUIS, Y. (2020). Does the Common Agricultural Policy enhance farming systems' resilience? Applying the Resilience Assessment Tool (ResAT) to a farming system case study in the Netherlands. *Journal of Rural Studies*, 314-327.

CABELL, J. F. (2012). An Indicator Framework for Assessing Agroecosystem Resilience. *ECOLOGY AND SOCIETY*.

CARLSON. (2017). Drought stress resistance and resilience of permanent grasslands are shaped by functional group composition and N fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 52-60.

CUMMING, G. S. (2005). An Exploratory Framework for the Empirical Measurement of Resilience. *Ecosystems*.

DARDONVILLE, M. (2020). Influence of diversity and intensification level on vulnerability, resilience and robustness of agricultural systems. *Agricultural Systems*.

DAUPHINE, A. (2007). *CAIRN.INFO MATIERE A REFLEXION*. Récupéré sur Armand Colin.: https://www.cairn.info/revue-annales-de-geographie-2007-2-page-115.htm

HERRERA, H. (2018). *Impact assessment tool to assess the resilience of farming systems and their delivery of private and public goods.* SURE Farm.

IDELE. (2017). Les éleveurs bovins lait face aux crises et aux aléas, regards sur la résilience des exploitations du réseau INOSYS-Réseaux d'élevage. *COLLECTION THEMA*.

IDELE. (s.d.). La résilience des systèmes bovins viande face aux aléas. *COLLECTION THEMA*.

MACIEJEWSKI, L. (2016). État de conservation des habitats : propositions de définitions et de concepts pour l'évaluation à l'échelle d'un site Natura 2000. *Revue d'Ecologie*.

MARTIN, S. (2018). *Viability analysis as an approach for assessing the resilience of agroecosystems.* Irstea.

MEUWISSEN, M. P. (2019). A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*.

MICHALLET, B. (2009). Résilience : Perspective historique, défis théoriques et enjeux cliniques. *Université du Québec à Montréal*, Volume 22, Number 1-2.

PFISTERER. (2002). Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning;. *Nature*, 84-86.

POILPOT, M.-P. (2003). La résilience : le réalisme de l'espérance. *Fondation pour l'enfance*, p9-12.

REIDSMA, P. (2017). *Resilience assessment of current farming systems across the European Union.* SURE Farm.

RESILIENCEALLIANCE. (2010). *Assessing Resilience in Social-Ecological Systems : Workbook for Practitioners Revised Version 2.0.*

ROUX-DUFORT, C. (2015). *Continuité, anticipation et résilience*. Récupéré sur CAIRN.INFO MATIERE A REFLEXION: https://www.cairn.info/revue-securite-et-strategie-2015-1-page-5.htm

TISSERON, S. (2007). *La résilience.* Paris: Presses universitaires de France.

TISSERON, S. (2021). *La résilience.* Que Sais-Je.