

## Quels leviers d'adaptation au changement climatique ? Gérer les stress hydrique et thermique

Dans le cadre de la **thématique 2** du **Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique**, la Cellule Recherche – Innovation – Transfert (RIT) en collaboration avec le Réseau Mixte Technologique (RMT) ClimA a réalisé un travail d'identification et de cartographie des leviers techniques d'adaptation aux **stress hydrique et thermique** pouvant être déployés au sein des exploitations agricoles françaises. Sur la base des contributions de 86 filières et parties prenantes et l'expertise de 37 experts issus de la recherche et du développement agricole, ce sont près de 100 leviers techniques qui ont été identifiés.

### 1. Définition du cadre du sujet

Loin de présenter l'ensemble des leviers envisageables face au changement climatique, cette synthèse est composée d'une sélection de leviers. Les **critères de sélection** de ces leviers sont les suivants :

#### 1.1 Des leviers d'adaptation

L'adaptation est à la fois le thème principal du Varenne de l'eau et la thématique de recherche du RMT ClimA. Nous avons donc exclu les leviers contribuant uniquement à l'atténuation. Les leviers d'adaptation qui présentent par ailleurs des capacités d'atténuation sont inclus au sujet.

#### Adaptation et Atténuation

Face au changement climatique, on distingue 2 types d'actions possibles (définitions de l'ADEME) :

- **L'adaptation** : Concerne une action dès lors qu'elle contribue à "**limiter les impacts négatifs** du changement climatique et d'en **maximiser les effets bénéfiques.**"
- **L'atténuation** : Concerne une action dès lors qu'elle "contribue à la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique."

*Encadré 1 : définition des termes "adaptation" et "atténuation"*

## 1.2 Des leviers **techniques**, à l'échelle de **l'agriculteur**

Nous avons sélectionné uniquement des leviers techniques, **actionnables par les agriculteurs sur leur exploitation**. Cela s'oppose d'une part aux leviers exploitables par les autres acteurs du territoire et d'autre part aux leviers administratifs et organisationnels, comme les assurances.

## 1.2 Des leviers contre les **excès de chaleur** et le **manque d'eau**

Compte tenu de la thématique définie par le Varenne de l'eau, nous nous sommes concentrés sur la problématique du **stress hydrique**. Cette problématique étant souvent liée au **stress thermique**, nous l'avons aussi inclus au sujet.

Stress hydrique et thermique

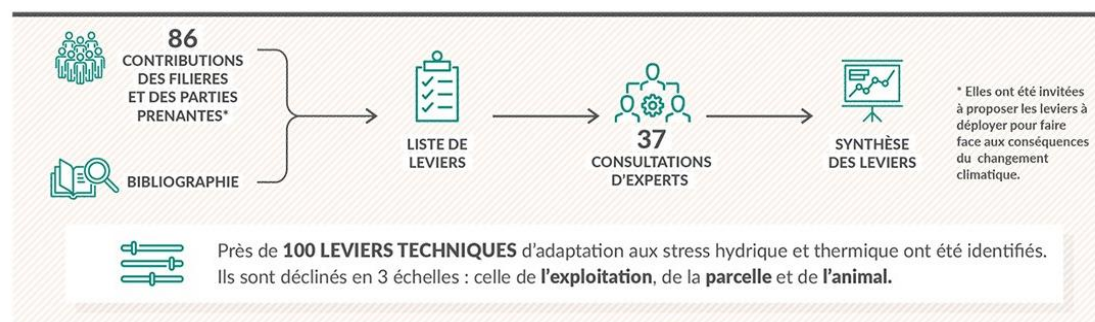
---

Nous définissons ici les stress hydrique et thermique de la manière suivante :

- **Stress hydrique** : Situation de pénurie d'eau pour les cultures, les animaux ou pour l'exploitation dans sa globalité.
- **Stress thermique** : Situation où l'excès de chaleur provoque un état de stress chez les cultures ou les animaux.

*Encadré 2 : définition des termes "stress hydrique" et "stress thermique"*

## 1. Méthode



*Figure 1 : Déroulé de la méthode*

## 2.1 Constitution de la première liste de leviers

Deux sources ont permis d'**identifier les leviers** restitués dans cette synthèse.

- Un **travail bibliographique** a d'abord été réalisé. Des dizaines d'articles (revues bibliographiques, travaux de recherche, ressources d'instituts techniques...) sur le sujet de l'adaptation aux problématiques de stress hydrique et thermique ont été consultés.
- D'autre part, nous avons exploité les **86 contributions produites par les différentes filières et parties prenantes dans le cadre du Varenne de l'eau**. Celles-ci ont été invitées à rédiger un document de réponse à un questionnaire concernant l'adaptation de leur filière face aux projections climatiques pour 2050 (voir *Encadré 3*). Les réponses aux différentes questions (et particulièrement la question 2 du questionnaire filières), ont permis d'enrichir la première liste de leviers.

### Questionnaire filière

- 1 Quels **impacts** majeurs, liés au changement climatique, anticipez-vous pour vos filières de l'amont (production agricole) à l'aval (transformation) ?
- 2 Quels sont les **leviers amont** (production agricole) et **aval** (transformation) que vous pensez/souhaitez mobiliser pour y faire face ?
- 3 Quels sont les **besoins** que vous identifiez pour accompagner cette nécessaire transition ?
- 4 Quels **risques**, quelles menaces, points d'attention ou conditions souhaitez-vous signaler ? Y a-t-il des opportunités à saisir ?
- 5 Quelles **orientations** envisagez-vous pour la feuille de route de votre filière ?

*Encadré 3 : Questionnaire à destination des filières dans le cadre du VAECC*

Quels leviers d'adaptation au changement climatique ? Gérer les stress hydrique et thermique

## 2.2 Organisation des leviers

Les leviers identifiés ont été compilés pour former une **matrice**, correspondant à un tableau, croisant des leviers et des critères de caractérisation (voir figure 2).

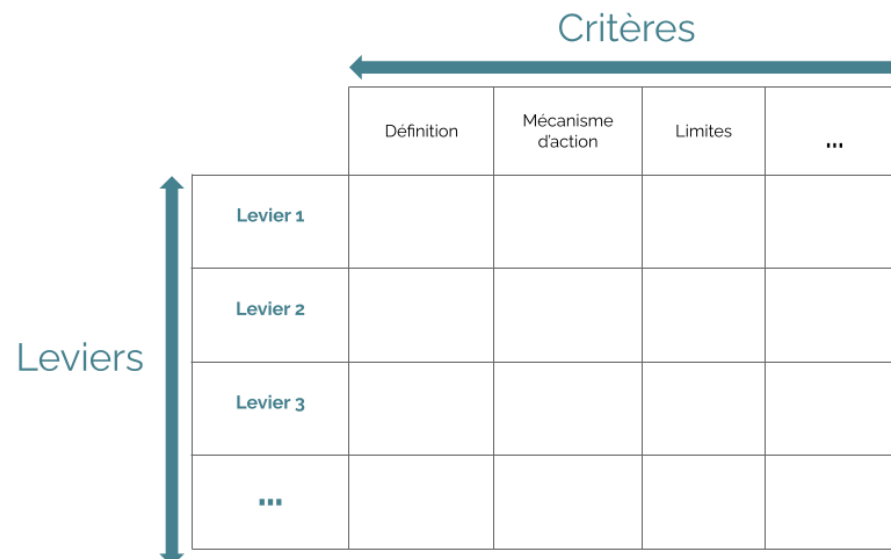


Figure 2: représentation de la matrice des leviers

Pour chaque levier, nous avons renseignés dans un premier temps les critères suivants :

- sa définition
- son mécanisme d'action
- certaines conditions d'efficacité
- certaines limites

A noter que, pour améliorer leur caractérisation et pour rendre possible une hiérarchisation des leviers les uns par rapport aux autres, d'autres critères sont voués à enrichir cette description. Il est, par exemple, envisagé d'inclure des critères évaluant :

- L'efficacité du levier
- Les coûts bruts pour l'agriculteur

- Le niveau d'aboutissement R&D du levier
- L'impact sur l'adaptation au changement climatique
- Le temps de travail associé à la mise en œuvre du levier
- 

### 2.3 Consultation d'experts

Enfin, nous avons subdivisé les leviers en différentes thématiques pour les confier à des experts ou groupes d'experts (voir figure 3). Les objectifs, pour chaque groupe de leviers, étaient les suivants :

- valider la pertinence des leviers
- valider les critères renseignés
- valider les relations entre les différents leviers
- ajouter des leviers manquant

#### Thématiques

	Agronomie végétale	Mobilisation de l'eau et irrigation	Élevage ruminants	Génétique végétale	Sol	Aviculture	Apiculture	Viticulture
<b>Nombre d'experts</b> (environs)	10	8	9	4	3	1	1	1
<b>Nombre de leviers abordés</b> (environs)	20	15	25	6	10	20	7	20

Figure 3 : Organisation thématique des experts et groupes d'experts sollicités

### Matrice des leviers d'adaptation aux stress hydrique et thermique

	Thème	Sous thème	Technique	Mécanisme d'action
			Comment mettre en place ce levier ?	Par quel mécanisme ce levier agit-il sur le stress hydrique ou thermique ?
<b>Choisir des espèces ou des variétés adaptées aux stress hydrique ou thermique</b>	Adapter l'assolement	Choisir des espèces ou des variétés adaptées au stress hydrique ou thermique	<p>Choisir des espèces ou des variétés capables de résister aux stress hydrique ou thermique :</p> <p>&gt;Certaines espèces présentent des capacités de tolérance au déficit hydrique (c'est-à-dire qu'en cas de stress hydrique, elles maintiennent leurs fonctions, notamment leur croissance foliaire ou reproductrice), comme le tournesol ou le sorgho.</p> <p>&gt;D'autres espèces peuvent mettre en place une stratégie dite d'évitement du stress (cette stratégie correspond à des adaptations des plantes, via des modifications de croissance foliaire ou racinaire, pour résister au déficit hydrique ou au stress thermique, moyennant un coût en terme de productivité), c'est le cas de la luzerne ou de la vigne (développement d'un système racinaire profond).</p> <p>&gt;Au sein des différentes variétés d'une espèce, les traits conférant aux plantes des capacités plus ou moins importantes de tolérance ou d'évitement présentent une grande variabilité, qu'il est possible d'exploiter. [1]</p>	<p>Plusieurs mécanismes peuvent agir :</p> <p>&gt;Pour la tolérance, les plantes maintiennent leurs fonctions reproductrice et/ou foliaire en cas de stress : le but est de chercher à maintenir le rendement maximal (en prenant le risque d'une perte totale de rendement). Le maintien de la croissance foliaire réduit par ailleurs les risques d'évaporation au sol. [1] Ces plantes peuvent présenter des capacités à faire des ajustements osmotiques et à conserver une stabilité de la membrane cellulaire pour limiter la déshydratation. [2] Elles peuvent aussi être capables de synthétiser des molécules les protégeant contre le stress oxydant (qui est l'une des conséquence du stress hydrique, néfaste au bon développement des plantes).</p> <p>&gt;Pour l'évitement, la stratégie consiste à accepter de réduire le rendement maximal pour sécuriser le rendement en conditions sèches. Pour cela, certaines plantes ont une croissance racinaire accrue pour puiser des ressources d'eau complémentaires, ou une transpiration réduite (du fait d'une conductance stomatique faible ou d'une croissance foliaire réduite). [1]</p>

<b>Optimiser le choix de la précocité des variétés</b>	Adapter l'assolement	Adopter une stratégie d'esquive	Adapter le choix de la précocité pour adopter une stratégie d'esquive. Ce choix est dépendant des espèces considérées. >Les variétés précoces ont un cycle cultural plus court : l'objectif est de parvenir à la récolte avant la période de chaleur. C'est une stratégie conservatrice, qui consiste à accepter de réduire le rendement maximal afin de sécuriser le rendement en conditions sèches. [1] >Pour certaines espèces, comme la vigne, il vaut mieux des variétés tardives pour retarder la maturation des raisins en période plus fraîche.	>Permet la réduction de la consommation totale d'eau. [3] >Permet que les derniers stades du cycle végétatif se produisent avec une humidité du sol encore élevée (esquive de la contrainte hydrique de fin de cycle). [3]
<b>Décaler la date de semis ou de plantation</b>	Adapter l'assolement	Adopter une stratégie d'esquive	Avancer la date de semis des cultures de printemps. Cela peut être fait en utilisant des variétés tolérantes aux températures plus basses [1] ou en "profitant" d'une augmentation des températures. [aibs vaecc]	C'est une stratégie d'esquive, qui consiste à contourner les périodes où les risques de stress hydrique et thermique sont importants.
<b>Optimiser la part de cultures d'hiver dans la rotation</b>	Adapter l'assolement	Adopter une stratégie d'esquive	Cultiver des cultures d'hiver (colza, blé, orge, pois d'hiver). [1]	C'est une stratégie d'esquive, qui consiste à contourner les périodes où les risques de stress hydriques et thermiques sont importants.
<b>Réaliser un suivi des consommations d'eau (élevage)</b>	Piloter la ressource en eau	NA	Réaliser un suivi des consommations d'eau ainsi qu'une évaluation des besoins.	Un suivi permet une meilleure maîtrise de la consommation d'eau (lavage, abreuvement) ainsi qu'une détection des fuites. [expert aviculture]
<b>Utiliser des systèmes d'abreuvement économes en eau (aviculture)</b>	Piloter la ressource en eau	NA	Pour l'abreuvement, utiliser des systèmes économes, comme les pipettes. Les systèmes d'abreuvement peuvent être équipés de gouttières. [expert aviculture]	>Avec les pipettes, l'eau coule directement dans le bec de l'animal, qui est dans la bonne position pour avaler. Elles vont permettre de diminuer la consommation globale en eau par diminution des gaspillages. [4] >Les gouttières permettent de récupérer l'eau qui tombe de l'abreuvoir (au lieu de tomber au sol), ce qui permet de petites économies d'eau (les volailles peuvent y boire). [expert aviculture]
<b>Stocker les eaux de surface et souterraines</b>	Optimiser la ressource en eau	Mobiliser la ressource en eau	Prélever et stocker l'eau de surface et souterraine durant les périodes excédentaires pour l'utiliser en période de	Stocker l'eau en période d'excédent pour l'utiliser en période de sécheresse.

				sécheresse (stockage en citerne, cuve ou retenues collinaires, micro-barrages).	
<b>Recycler les eaux usées traitées (eaux grises)</b>	Optimiser la ressource en eau	la	Mobiliser la ressource en eau	<p>Récupérer des eaux grises et/ou recyclables des industries ou activités situées à proximité. [val'hor vaecc]</p> <p>&gt;Eaux issues du nettoyage du matériel et des bâtiment, par exemple : Les eaux de lavage du matériel pour la fabrication de fromage peuvent, après traitements adéquats (possibilité d'installer une microstation d'assainissement), être utilisées pour l'irrigation. [5]</p> <p>&gt;Eaux issues des transformations agroalimentaires, par exemple :</p> <p>&gt;&gt; Transformations laitières : "Lors de la transformation du lait, du lactosérum et du babeurre, un important flux d'eaux est récupéré. Il peut être utilisé, par exemple, pour du rinçage. " [6]</p> <p>&gt;&gt; Eau issue des sucreries : L'eau issue des processus d'extraction du sucre de la betterave constitue entre 420 et 450 L par tonne de betteraves transformée. Une partie de cette eau peut être utilisée pour l'irrigation des cultures proches des sucreries (les effluents des sucreries constituent par ailleurs un apport nutritif pour les cultures). [aibs vaecc]</p>	Recycler et traiter les eaux grises (issues d'industries ou autres activités) en tant qu'alternative aux eaux prélevées dans les milieux naturels. [fam gc vaecc]
<b>Recycler les eaux de drainage</b>	Optimiser la ressource en eau	la	Mobiliser la ressource en eau	<p>&gt;Recycler les eaux issues des gouttières de drainage en cultures sous serre hors sol.</p> <p>&gt;En grande culture, la récupération des eaux de drainage du sol (par le système de drainage des parcelles) est de l'ordre du prospectif.</p>	Recycler l'eau issue des gouttières de drainage.



<p><b>Stocker l'eau atmosphérique</b></p>	<p>Optimiser la ressource en eau</p>	<p>Mobiliser la ressource en eau</p>	<p>&gt;Il est possible de récupérer l'eau depuis les toits des bâtiments (notamment d'élevage, serres) ou des abris de protection des cultures (pluie en particulier). [interbev vaecc] [maraîchers nantais vaecc] &gt;Le brouillard peut être récolté à l'aide de filets sur lesquels les gouttelettes s'agglomèrent (utilisé par exemple au Pérou). La rosée peut être récupérée par écoulements sur des toits bien isolés pendant les nuits à fort refroidissement radiatif (Corse, Iles Canaries). [7]</p>	<p>Récupérer et stocker l'eau atmosphérique (pluie, rosée, brouillard) pour irriguer les cultures.</p>
<p><b>Etablir une stratégie d'irrigation avant campagne</b></p>	<p>Piloter la ressource en eau</p>	<p>Piloter l'irrigation</p>	<p>Consiste à définir la stratégie d'irrigation à l'échelle de l'exploitation qui sera suivie lors de la campagne en fonction de la ressource disponible, de l'assolement et des objectifs de productions. Compte tenu de la ressource disponible, établir une stratégie afin d'optimiser les apports tout en limitant les risques de pertes de productivité. &gt;Cas d'un volume limité mais assuré : Encadrer la période de plus forte sensibilité de la culture (couvrir les périodes où le stress hydrique est le plus pénalisant sur le rendement et la qualité). Apporter des doses unitaires plus faibles et plus fréquentes. [8] &gt;Cas d'un risque de coupure : Constituer rapidement une réserve suffisante d'eau dans le sol pour permettre aux plantes d'éviter le stress le plus longtemps possible à partir de la coupure. [8] &gt;L'OAD Moderato est un modèle permettant de rechercher les meilleures règles de décision pour l'irrigation du maïs, compte tenu de la disponibilité en eau. [3] &gt;L'OAD ASALEE est une application permettant aux agriculteurs de comparer différentes stratégies d'assolement compte tenu notamment des contraintes d'accès à l'eau. [9]</p>	<p>Permet d'optimiser les apports en limitant les risques de pertes de productivité (apports aux périodes de plus forte sensibilité au stress hydrique pour les cultures).</p>

<p><b>Ajuster la stratégie d'irrigation en cours de campagne</b></p>	<p>Piloter la ressource en eau</p>	<p>Piloter l'irrigation</p>	<p>Consiste à ajuster l'irrigation au cours de la campagne à l'aide d'outils de pilotage (OAD, bilan hydrique, sondes, ...). Ces outils de pilotage peuvent être basés sur des mesures de l'état hydrique du substrat et des plantes, par exemple :</p> <p>&gt;Suivre l'état hydrique du sol (ou du substrat) grâce à des sondes (capacitives ou tensiométriques) et réaliser des bilans hydriques (par exemple, le modèle Irré-lis, disponible en ligne). L'utilisation de sondes peut être accompagné de guides d'interprétations des résultats, comme Irrinov, donnant des conseils d'irrigation par culture et région.</p> <p>&gt;En arboriculture, il est par exemple possible d'utiliser un dendromètre connecté, mesurant les variations des diamètres des tiges ou des branches, témoin de l'état hydrique des plantes. [10]</p> <p>&gt;En viticulture, la méthode des apex permet de suivre la dynamique de croissance végétative des plantes. Celle-ci peut être reliée à une interprétation du niveau de contrainte hydrique. Elle peut être mise en œuvre à l'aide de l'application ApeX-Vigne. Il est aussi possible d'utiliser des capteurs de flux de sève pour déterminer le statut hydrique de la vigne (par exemple, les capteurs Fruition). [expert viticulture]</p>	<p>Evaluer les risques de stress hydrique des plantes pour gérer la conduite en conséquence, et notamment les dates et doses d'irrigation.</p>
<p><b>Pratiquer une irrigation d'appoint</b></p>	<p>Piloter la ressource en eau</p>	<p>Piloter l'irrigation</p>	<p>Consiste à irriguer des cultures n'ayant pas été identifiées dans la stratégie d'irrigation mais qui sont susceptibles de bénéficier de quantités d'eau non mobilisées (irrigation opportuniste) et correspondant à des stades de croissance sensibles à la sécheresse. [11]</p> <p>"Cela comprend notamment le fait d'ajouter des quantités limitées d'eau d'irrigation à des cultures essentiellement pluviales pour améliorer et stabiliser les rendements". [12]</p>	

			On parle d'irrigation starter lorsqu'elle a lieu au démarrage de la culture. [13]		
<b>Utiliser un système goutte-à-goutte</b>	Piloter la ressource en eau	la en	Utiliser des équipements d'irrigation efficients	Système d'irrigation au plus proche des cultures. Il peut être enterré ou de surface. [14]	Ce matériel présente une très bonne efficacité d'application (95% de l'eau en sortie de buse atteint effectivement la culture pour le goutte à goutte enterré), une très bonne qualité de répartition et un très faible risque de ruissellement sur sol peu perméable. [14] Il peut permettre des économies d'eau significatives par rapport à un système d'aspersion. [15]
<b>Adapter l'irrigation en cas de vent</b>	Piloter la ressource en eau	la en	Utiliser des équipements d'irrigation efficients	>Irriguer, de préférence, en l'absence de vent. [16] >Il est aussi possible d'améliorer l'efficacité d'application en cas de vent en ajustant l'angle du jet (détection par l'utilisation d'un anémomètre). Cela peut être mis en œuvre avec l'application Irriparc, qui permet de simuler la distribution d'un canon en conditions ventées. Elle permet de choisir l'angle de jet et l'angle de balayage lors d'épisodes venteux pour limiter les effets du vent sur l'uniformité d'irrigation. [14]	>Limite les risques de dérive. >Évite d'avoir à compenser l'hétérogénéité de l'arrosage par un surplus d'irrigation. [1]
<b>Réaliser une modulation intra-parcellaire de la dose apportée</b>	Piloter la ressource en eau	la en	Utiliser des équipements d'irrigation efficients	>Utiliser des canon "intelligents" : Systèmes permettant de moduler la répartition de la dose au niveau du canon. >Utiliser des systèmes VRI : système modulation de la dose (VRI : Variable Rate Irrigation). Des électrovannes en entrée de chaque buse (ou par groupe de quelques buses) sont commandées à distance par l'ordinateur de bord, permettant d'appliquer une dose différente sous chaque buse. > Certains systèmes servent à s'adapter aux irrégularités de la parcelle pour avoir des apports plus homogènes et	Cela permet de moduler la dose d'une zone à l'autre, et donc de réaliser potentiellement des économies d'eau. [14]

			limiter les pertes en irriguant hors de la parcelle (brise-jet réglable, inversion du balayage, ajustement de l'angle de balayage en cours d'enroulement). [14]	
<b>Entretien des équipements d'irrigation</b>	Piloter la ressource en eau	Utiliser des équipements d'irrigation efficaces	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Entretien le réseau et le matériel d'irrigation.</li> <li>&gt;Pour un système au goutte à goutte cela passe par exemple par un bon choix de filtres ou par la prévention des risques de colmatage en faisant des relevés réguliers au compteur, ou, pour un système enterré, en nettoyant les gaines en bout de rang. [14]</li> </ul>	Limiter les risques de pertes sur le réseau d'irrigation (fuites) et de perte d'efficacité (colmatages).
<b>Utiliser un pivot ou une rampe frontale avec des asperseurs adaptés</b>	Piloter la ressource en eau	Utiliser des équipements d'irrigation efficaces	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Choisir des asperseurs permettant une bonne homogénéité (asperseurs rotatifs, ou, mieux, oscillants).</li> <li>&gt;Régler la pression des asperseurs compte tenu du vent et de la température.</li> <li>&gt;Utiliser des cannes de descente.</li> <li>&gt;Utiliser des doubles rampes d'asperseurs. [14]</li> </ul>	<p>Ce matériel présente une très bonne efficacité d'application (90 à 95% de l'eau en sortie de buse atteint effectivement la culture), une bonne qualité de répartition et, si la longueur du pivot est adaptée, un faible risque de ruissellement sur sol peu perméable. [14]</p> <p>Aussi, sous rampe ou pivot, le pilotage de l'irrigation se trouve amélioré, les doses et fréquences des tours d'eau peuvent plus facilement être ajustées aux conditions climatiques. [aibs vaecc]</p> <p>Pour le choix des asperseurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Une pression trop élevée crée des gouttes très fines, qui ont plus de risques d'évaporation et de dérive.</li> <li>&gt;Les cannes de descente "approchent les arroseurs de la culture et limitent aussi la dérive (et à l'évaporation en conditions désertique) et améliore l'efficacité d'irrigation".</li> <li>&gt;Les doubles rampes réduisent la pluviométrie instantanée et donc le risque de ruissellement. [14]</li> </ul>

<b>Diversifier les espèces et les variétés cultivées</b>	Adapter l'assolement/Piloter la ressource alimentaire	Diversifier les espèces et les variétés cultivées	Diversifier les espèces et les variétés cultivées, compte tenu des conditions pédo-hydro-climatiques. La diversification peut être faite à l'échelle de l'exploitation ou à l'échelle de la parcelle via des mélanges variétaux ou des associations d'espèces.	>La diversification des cycles culturaux et des espèces permet de répartir les risques climatiques et offre des solutions d'esquive. [3] Il constitue un levier de sécurisation des revenus. [intercéréales vaec] >Pour les prairies, jouer sur la composition (espèces et variétés) permet d'étaler le pic de production et ainsi de limiter les risques d'un aléa de printemps. [interbev vaec]
<b>Intégrer des prairies multi espèces à la rotation</b>	Adapter l'assolement/Piloter la ressource alimentaire	Diversifier les espèces et les variétés cultivées	Intégrer des prairies (de préférence multi espèces) à la rotation (temporaires - moins de 5 ans - ou permanentes - à partir de 6 ans).	Au niveau du système de polyculture-élevage, les prairies multi espèces permettent, du fait de leur diversité intraparcellaire, d'atténuer les variations de production au sein de la parcelle, et donc un étalement des pics de production [17] et ainsi de limiter les risques d'un aléa de printemps. [interbev vaec] Au niveau de la culture, les prairies permettent, par rapport à des cultures annuelles : >Un enrichissement du sol en matière organique, ce qui permet de profiter des bénéfices associés (amélioration de l'infiltration, de l'exploration racinaire et, dans une moindre mesure, de la rétention d'eau). >Une diminution de l'érosion. [17]
<b>Intégrer des cultures à double fin ou à double production</b>	Piloter la ressource alimentaire	Sécuriser les ressources alimentaires	>Culture à double fin : culture "semée à destination d'une récolte en grain, pour la vente ou l'autoconsommation en tant que concentrés, mais que le manque de fourrages (sécheresse printanière ou autre aléa climatique) conduit l'éleveur à le récolter précocement pour assurer l'alimentation fourragère du troupeau. " >Culture à double production : culture qui a été semée dans le but de récolter, à la fois, du fourrage et du grain. Par exemple, dans le cas des céréales, "une récolte avant le stade « épi 1 cm » permet de laisser la culture se développer ensuite en vue d'une récolte en grains, avec une baisse de rendement relativement maîtrisée." [18]	Permet de sécuriser de la ressource alimentaire.

<b>Constituer un stock de fourrage de sécurité</b>	Piloter la ressource alimentaire	la	Sécuriser les ressources alimentaires	Réaliser un stock de sécurité les bonnes années pour compenser les années plus difficiles. [interbev vaecc]	Permet une moindre sensibilité de l'exploitation à la variabilité des rendements. [interbev vaecc]
<b>Utiliser des ressources alimentaires alternatives (aquaculture)</b>	Piloter la ressource alimentaire	la	Diversifier les ressources alimentaires	Utilisation d'insectes, levures, microalgues... [cipa vaecc]	Permettrait de faire face à la baisse d'accès à l'alimentation des poissons liée aux aléas climatiques. [cipa vaecc]
<b>Intégrer des ressources fourragères ligneuses</b>	Piloter la ressource alimentaire	la	Diversifier les ressources alimentaires	Planter ou entretenir des ligneux plus ou moins hauts : arbres, arbustes, broussailles... [19]	>Ils constituent une ressource fourragère complémentaire, ce qui permet de sécuriser le système d'élevage vis-à-vis d'aléas climatiques. Ils peuvent être pâturés directement (feuilles, fruits, tiges...) ou redistribués aux animaux après étêtage ou émondage. >S'ils sont suffisamment hauts, ils peuvent apporter de l'ombrage. [19]
<b>Pâturer des surfaces "additionnelles" et pastorales</b>	Piloter la ressource alimentaire	la	Diversifier les ressources alimentaires	Pâturage de surface non prairiales, comme des espaces verts, des forêts ou encore des couverts d'interculture.	Levier de sécurisation permettant de disposer de ressources fourragères complémentaires. La présence éventuelle d'arbres protège en plus les animaux de la chaleur. [interbev vaecc]
<b>Augmenter le recours à la pratique du nourrissage (apiculture)</b>	Piloter la ressource alimentaire	la	Diversifier les ressources alimentaires	Augmentation du recours à la pratique du nourrissage (plus courante et régulière). [interapi vaecc] C'est une solution de secours, envisageable uniquement au court-terme. [expert apiculture]	Compense l'éventuel manque de ressources alimentaires lié aux aléas climatiques une année donnée. Au long terme, ce levier peut à l'inverse limiter les capacités d'adaptation des colonies. [expert apiculture]

<b>Optimiser la gestion du pâturage tournant</b>	Piloter la ressource alimentaire	Optimiser l'utilisation des prairies et des cultures fourragères	Le pâturage tournant "consiste à diviser les prairies en différentes parcelles de plus petites tailles et à mettre en place un temps de rotation entre chaque parcelle" [20] "de manière à ce que les animaux ne reviennent pas sur la même parcelle avant 3-4 semaines." [21] Optimiser, notamment, les dates d'entrées et de sortie des parcelles pour valoriser au mieux la ressource alimentaire disponible. Cela passe par exemple par le fait d'attendre que l'herbe atteigne le stade "3 feuilles" avant de la pâturer. [22] Il est possible d'opter pour le pâturage tournant dynamique, souvent associé à une augmentation du chargement. [21]	>Le pâturage tournant offre une herbe de qualité élevée et constante, "et l'éleveur peut gérer plus facilement les situations de déficit ou d'excès d'herbe." [21] >En situation de sécheresse, la maîtrise des dates d'entrée et de sortie des parcelles permet d'éviter de trop fragiliser le couvert végétal et de limiter l'évaporation. [22] >Certains résultats indiquent que l'augmentation du chargement en pâturage tournant dynamique permet de nourrir plus d'animaux à l'hectare. [21]
<b>Pratiquer le topping</b>	Piloter la ressource alimentaire	Optimiser l'utilisation des prairies et des cultures fourragères	Technique consistant à faucher et restituer l'herbe avant le passage des animaux sur une parcelle. [23]	En cas de manque d'herbe, notamment du fait de la sécheresse, cette technique permet de "préfaner les plantes ce qui réduit l'amertume des zones de refus, les animaux viennent donc à augmenter leur ingestion de matière sèche et à consommer la quasi-totalité de la biomasse disponible." [23]
<b>Pratiquer le déprimage</b>	Piloter la ressource alimentaire	Optimiser l'utilisation des prairies et des cultures fourragères	"Le déprimage est un mode d'exploitation précoce (tôt au printemps, avant une fauche potentielle) des graminées par le pâturage." [24]	Cela permet : >D'allonger la saison de pâturage. >En fauche, de "maintenir la qualité des foin en repoussant le stade de développement de l'herbe pour positionner la fenaison dans une fenêtre météo plus favorable." >Sur céréales, d'accéder à une source alimentaire complémentaire (et est par ailleurs susceptible de favoriser le tallage et donc le rendement). [24]
<b>Faire pâturer des stocks d'herbes sur pied</b>	Piloter la ressource alimentaire	Optimiser l'utilisation des prairies et des cultures fourragères	Le pâturage de stocks sur pied correspond à "mettre de côté" des parcelles qui seront pâturées lorsque la pousse de l'herbe ralentira au cours de l'été (au lieu de faucher en début d'été pour redistribuer en période sèche). [25] [26]	Cela permet de prolonger le pâturage estival, notamment en zone séchante, et d'économiser des stocks de nourriture. [25]

<p><b>Choisir des reproducteurs avec des bonnes capacités de résistance au(x) stress hydrique et/ou thermique</b></p>	<p>Adapter la conduite du cheptel</p>	<p>Élever des animaux adaptés au(x) stress hydrique et/ou thermique</p>	<p>&gt;Choisir des reproducteurs avec une meilleure résistance ou résilience dans des situations de stress thermiques et/ou hydriques. &gt;Il est possible de faire des croisements entre des races, notamment avec des races "locales et rustiques" ou issues d'environnement difficiles (zébus). [fge vaecc] &gt;Utiliser un OAD permettant de sélectionner les animaux présentant une bonne résistance à la chaleur (par exemple, une application web, développée en Australie pour les élevages de bovins laitiers, combine l'index de résistance à la chaleur, l'index de synthèse nationale et des prédictions de THI - Température-Humidity Index - pour aider à l'anticipation des choix de sélections compte tenu de la contrainte thermique). [27]</p>	<p>Ces individus peuvent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Être moins sensibles aux fortes températures (thermotolérance)</li> <li>&gt;Être plus résilients face aux stress hydrique ou thermique (maintien des fonctions vitales, de production et de reproduction)</li> <li>&gt;Avoir une longévité améliorée en condition stressante</li> <li>&gt;Avoir une bonne capacité de mobilisation des réserves corporelles</li> <li>&gt;En aviculture, il est possible de choisir des animaux portant le gène Na ("cou nu"), caractérisé par une absence de plumes sur différentes parties du corps ainsi qu'une peau plus fine, permettant une meilleure évacuation de la chaleur. Il est aussi possible d'élever des animaux produisant naturellement moins de chaleur. [expert aviculture]</li> </ul>
<p><b>Choisir des reproducteurs efficaces sur l'exploitation des ressources</b></p>	<p>Adapter la conduite du cheptel</p>	<p>Élever des animaux adaptés au(x) stress hydrique et/ou thermique</p>	<p>Choisir des reproducteurs ayant de bonnes capacités d'optimisation de l'exploitation des ressources alimentaires.</p>	<p>Cela concerne :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;L'efficacité d'exploitation des fourrages</li> <li>&gt;L'efficacité au pâturage</li> <li>&gt;L'efficacité en agroforesterie, sur les surfaces pastorales, en estive...</li> <li>&gt;L'aptitude à la marche/exploration</li> <li>&gt;La limitation des rejets de méthanes entériques (atténuation).</li> <li>&gt;L'efficacité de l'eau n'est pas un levier à privilégier. Les gains seraient minimes et ce serait potentiellement risqué pour la santé des animaux.</li> </ul>
<p><b>Faire un conditionnement embryonnaire ou précoce des poussins</b></p>	<p>Adapter la conduite du cheptel</p>	<p>Élever des animaux adaptés au(x) stress hydrique et/ou thermique</p>	<p>Exposer les œufs à de courts stress thermiques. [28]</p>	<p>L'objectif est d'induire des modifications épigénétiques (méthylation de gènes) conférant une meilleure résistance au stress thermique des animaux adultes. [28]</p>



<b>Élever de plus petites colonies (apiculture)</b>	Adapter la conduite du cheptel	Optimiser les effectifs	S'approcher d'un modèle apicole "du sud", utilisant des caisses de petites tailles et des petites colonies. [expert apiculture]	Ces colonies, moins consommatrices car moins peuplées, sont plus résistantes dans des situations d'instabilités alimentaires. Elles survivent plus longtemps au manque de nourriture. [expert apiculture]
<b>Optimiser les effectifs et le renouvellement</b>	Adapter la conduite du cheptel	Optimiser les effectifs	Il est possible de réduire les effectifs, soit : >en limitant les animaux improductifs (cf. atténuation), par exemple, chez les ruminants : >> Diminuer âge à la première mise bas >> Augmenter le temps de lactations afin de diminuer le renouvellement >> En bovin, diminuer l'IVV (pour les non saisonnées) >en laissant de la souplesse	>Economiser des ressources alimentaires. >Gagner en souplesse pour une meilleure adaptation à une ressource alimentaire variable.
<b>Exploiter la complémentarité entre espèces, races et lots</b>	Adapter la conduite du cheptel	NA	Plusieurs techniques sont envisagées pour exploiter la complémentarité entre espèces, races et lots : >Constituer un "lot joker", c'est à dire un petit lot d'animaux pour valoriser de petites surfaces, mais dont on peut se séparer. Ce lot peut être éventuellement composé d'animaux à faible gabarit pour permettre le pâturage hivernal. >Élever des animaux à faible gabarit pouvant ainsi pâturer plus tôt ou tard en saison avec moins de risque de tasser les sols. [interbev vaecc] Cela peut se faire par sélection ou croisement, ou en jouant sur les lots en fonction de l'âge. Certaines espèces ont naturellement un gabarit faible. >Élever de manière combinée plusieurs espèces et races.	Gagner en souplesse pour une meilleure adaptation à une ressource alimentaire variable.

<b>Adapter les stratégies et calendriers de reproduction</b>	Adapter la conduite du cheptel	NA	<p>"Les stratégies et calendriers de reproduction devront parfois être adaptés pour éviter que les périodes les plus à risque (zootechniquement) coïncident avec les périodes de fortes chaleurs, ou de déficits alimentaires, notamment pour tenir compte des modifications de la répartition annuelle de la pousse de l'herbe." [interbev vaecc]</p> <p>Par exemple, en bovin, faire 2 périodes de vêlage. En caprin, par exemple, il est possible de faire une lactation longue.</p>	C'est une stratégie d'esquive ou d'étalement des risques.
<b>Diversifier les productions</b>	NA	NA	<p>&gt;Diversifier les productions, par exemple en diversifiant les ateliers (ex : polyculture-élevage).</p> <p>&gt;En apiculture, par exemple, diversifier en produisant de la gelée royale et du propolis. [expert apiculture]</p>	L'objectif est de gagner en résilience.
<b>Organiser des coopérations entre agriculteurs</b>	NA	NA	<p>&gt;Entre cultivateurs : organiser une gestion concertée de l'assolement et de l'achat de matériel (par exemple, le matériel d'irrigation).</p> <p>&gt;Entre cultivateurs et éleveurs : par exemple, réfléchir collectivement à l'intégration de prairies pour le pâturage ou la production de fourrage. Il est également possible de faire pâturer des couverts d'intercultures ou du blé ou colza en sortie d'hiver sur d'autres exploitations.</p> <p>&gt;En apiculture : Réaliser des concertations entre apiculteurs pour organiser collectivement la répartition des exploitants sur un territoire donné (répartition organisée des miellées). [expert apiculture] Echanger avec les cultivateurs pour la planification des miellées et l'intégration de ressources mellifères aux parcelles. [interapi vaecc] [expert apiculture]</p>	<p>&gt;Entre cultivateurs : Peut permettre de l'investissement dans du matériel d'irrigation plus efficient, et donc de réaliser des économies d'eau. Une gestion concertée de l'assolement peut permet de réduire les risques de ruissellement et d'érosion pour des exploitations voisines.</p> <p>&gt;En élevage : Donne accès à des surfaces supplémentaire, ce qui permet une sécurisation de la ressource alimentaire.</p> <p>&gt;En apiculture : Se répartir de manière organisée sur le territoire limiterait les coûts de transhumance et permettrait une optimisation de l'exploitation des ressources locales pour une redistribution équitable des productions. Cela permettrait d'augmenter la résilience et les capacités d'adaptation des apiculteurs. Par ailleurs, les aléas climatiques provoquant une irrégularité des productions, utiliser du matériel commun (frigos), permettrait notamment une meilleure gestion des stocks. [expert apiculture]</p>

<b>Planter des cultures intermédiaires (exportées)</b>	Favoriser une couverture régulière du sol	Planter et maintenir des couverts ou favoriser un enherbement spontané	Cultures intermédiaires exportées (dérobées), comme les CIVE.	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Réduction du ruissellement [2]</li> <li>&gt;Réduction de l'évaporation [2]</li> <li>&gt;Les racines et les chaumes enrichissent le sol en matière organique [29], ce qui permet de profiter des bénéfices associés (amélioration de l'infiltration, de l'exploration racinaire et, dans une moindre mesure, de la rétention d'eau).</li> <li>&gt;Apport d'une ressource fourragère complémentaire (pâturée ou redistribuée).</li> </ul>
<b>Planter des cultures intermédiaires (non exportées)</b>	Favoriser une couverture régulière du sol	Planter et maintenir des couverts ou favoriser un enherbement spontané	Cultures intermédiaires non exportées, comme les CIPAN.	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Réduction du ruissellement [2]</li> <li>&gt;Réduction de l'évaporation [2]</li> <li>&gt;Les résidus enfouis enrichissent le sol en matière organique [29], ce qui permet de profiter des bénéfices associés (amélioration de l'infiltration, de l'exploration racinaire et, dans une moindre mesure, de la rétention d'eau).</li> </ul>
<b>Planter un couvert permanent (grandes cultures)</b>	Favoriser une couverture régulière du sol	Planter et maintenir des couverts ou favoriser un enherbement spontané	Un couvert permanent est semé et conservé sur une longue période (le plus souvent entre 18 et 36 mois). Son cycle chevauche au moins une culture commerciale, l'interculture suivante et le début du cycle de la culture suivante. [30]	<p>Le mécanisme est similaire à celui d'une culture intermédiaire. [31]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Réduction du ruissellement [2]</li> <li>&gt;Réduction de l'évaporation [2]</li> <li>&gt;Enrichissement du sol en matière organique [29], ce qui permet de profiter des bénéfices associés (amélioration de l'infiltration, de l'exploration racinaire et, dans une moindre mesure, de la rétention d'eau)</li> </ul>
<b>Maintenir des bandes enherbées et/ou fleuries (intra-parcellaire ou en bord de parcelles)</b>	Favoriser une couverture régulière du sol	Planter et maintenir des couverts ou favoriser un enherbement spontané	Il s'agit de semer une bande fleurie, herbeuse ou de favoriser le développement d'un couvert spontané sur une largeur de plusieurs mètres en bordure de parcelles ou au sein de la parcelle. [32]	Ralentissement du ruissellement.

<p><b>Maintenir un enherbement spontané (cultures pérennes)</b></p>	<p>Favoriser une couverture régulière du sol</p>	<p>Planter et maintenir des couverts ou favoriser un enherbement spontané</p>	<p>Installer un couvert herbacé, selon plusieurs modalités :                  &gt;Type de couvert : spontané ou semé.                  &gt;Disposition : sous les rangs, entre les rangs...                  &gt;Surface couverte : sous formes de bandes, sur toute la parcelle, 1 rang sur 2, 1 rang sur 4...                  &gt;Date de destruction.</p>	<p>&gt;"L'enherbement des vergers permet par exemple de faire diminuer la température de 3°C, effet intéressant en situation de canicule." [interfel vaec]                  &gt;Réduction de du ruissellement                  &gt;Enrichissement du sol en matière organique [29], ce qui permet de profiter des bénéfices associés (amélioration de l'infiltration, de l'exploration racinaire et, dans une moindre mesure, de la rétention d'eau)</p>
<p><b>Pailler (paillage synthétique)</b></p>	<p>Favoriser une couverture régulière du sol</p>	<p>Pailler ou Mulcher</p>	<p>Apport de matériaux exogènes inorganiques pour couvrir le sol :                  &gt;Polyéthylènes                  &gt;Matériaux biodégradables                  &gt;Paillage minéral (pour espaces verts et jardins) [33]</p>	<p>&gt;Réduction du ruissellement                  &gt;Réduction de l'évaporation [2]</p>
<p><b>Pailler (paillage organique)</b></p>	<p>Favoriser une couverture régulière du sol</p>	<p>Pailler ou Mulcher</p>	<p>Apport de matériaux exogènes organiques pour couvrir le sol :                  &gt;En pleine terre (ou espaces verts), on utilise des paillages fluides : pailles de blé ou de miscanthus, BRF, écorces ou copeaux de bois...                  &gt;En hors sol, il est envisagé d'utiliser des paillages fluides (des paillettes de chanvre, de lin, fibres de bois, coques de cacao, cosses de sarrasin) ou déshydratés (granulés de paille, écorces criblées...) [33]</p>	<p>&gt;Réduction du ruissellement                  &gt;Réduction de l'évaporation [2]                  &gt;Enrichissement du sol en matière organique [33], notamment via le développement de la macrofaune [expert sol] ce qui permet de profiter des bénéfices associés (amélioration de l'infiltration, de l'exploration racinaire et, dans une moindre mesure, de la rétention d'eau)</p>

<p><b>Apporter de la matière organique dans le sol</b></p>	<p>Améliorer les propriétés du sol</p>	<p>NA</p>	<p>&gt;Epanchage d'effluents et de composts [34] &gt;Restitution des résidus de culture [34] &gt;Utiliser du biochar : "produit organique très riche en carbone, issu de résidus agricoles (bois et marcs par exemple) transformés par pyrolyse. [...] Il faut d'abord former plusieurs couches de charbon, compost et fumier, afin que le charbon absorbe la matière utile. Puis, il faut épandre ce mélange sur la parcelle et l'enfouir légèrement. On peut aussi le laisser en surface, la migration dans le sol s'effectuant naturellement. " [35] &gt;Pour la culture de la lavande, quelques possibilités spécifiques : &gt;&gt;Restitution des résidus de récolte après distillation (après compostage ou non) [cihef vaecc] &gt;&gt;Broyage sur place des vieilles plantations en fin de vie (durée de vie 10 ans en moyenne) [cihef vaecc] &gt;&gt;Utilisation de la machine de récolte Espieur, qui broie les pailles résiduelles et les laisse dans l'inter-rang [cihef vaecc]</p>	<p>L'enrichissement du sol en matière organique permet : &gt;D'améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol [2] &gt;Une meilleure pénétration du système racinaire dans le sol [1] &gt;D'augmenter les capacités de rétention d'eau dans le sol [2] &gt;Le biochar est plébiscité pour sa capacité à retenir l'eau et à la relâcher de manière progressive dans le sol. [expert viticulture]</p>
<p><b>Inoculer ou favoriser le développement de mycorhizes</b></p>	<p>Améliorer les propriétés du sol</p>	<p>NA</p>	<p>&gt;Inoculer des souches mycorhiziennes (obtenues dans le commerce ou produites de manière artisanale). &gt;Favoriser certaines pratiques culturales, comme la réduction des intrants chimiques de synthèse et la limitation du travail du sol, qui sont favorables au développement des mycorhizes. [36]</p>	<p>&gt;L'association symbiotique des espèces cultivées avec des champignons mycorhiziens permet une meilleure exploration du sol et donc une meilleure valorisation de l'eau disponible. [36] &gt;Les champignons mycorhiziens peuvent contrôler la synthèse d'une hormone végétale, l'acide abscissique (ABA), qui intervient dans la fermeture des stomates. Leur présence réduit ainsi la transpiration en situation de sécheresse. [37] &gt;Grâce à leurs filaments et à la sécrétion de glomaline (une protéine agissant comme une colle stabilisant les agrégats du sol), ils favorisent une porosité permettant la rétention de l'eau dans le sol. [37]</p>

<b>Adapter la taille et la forme des parcelles</b>	Améliorer les propriétés du sol	NA	Jouer sur la taille et la forme des parcelles. Il est préférable de morceler l'assolement en petites parcelles en prenant en compte la topologie du lieu et les zones de passage d'eau. Répartir les cultures en mosaïque. [38]	La taille et la forme des parcelles jouent sur le ruissellement et l'érosion. [38]
<b>Choisir des substrats augmentant la capacité de rétention de l'eau (horticulture)</b>	Améliorer les propriétés du sol	NA	Favoriser des substrats augmentant la capacité de rétention de l'eau. [val'hor vaecc]	Améliorer la disponibilité de l'eau pour les plantes.
<b>Arrêter le travail du sol</b>	Améliorer les propriétés du sol	Adapter le travail du sol	L'arrêt du travail du sol s'accompagne souvent : >D'une couverture permanente du sol [39] et par conséquent de semis direct sous couvert [40]. La couverture du sol peut être constituée d'un paillis (mulch) ou de plantes de couverture implantées. [30] >D'une diversité des cultures et de rotations longues. [39]	La réduction du travail du sol permettrait : >De modifier la porosité du sol dans le sens de l'augmentation de ses capacités de stockage. [2] >La couverture des sols réduit le ruissellement et l'évaporation. [2] Les plantes de couvertures peuvent enrichir le sol en matière organique [29] ce qui permet de profiter des bénéfices associés (amélioration de l'infiltration, de l'exploration racinaire et, dans une moindre mesure, de la rétention d'eau).
<b>Effectuer un barbutage (légumes)</b>	Améliorer les propriétés du sol	Adapter le travail du sol	La barbutteuse est un outil qui permet de former, à intervalle régulier, de petites buttes dans les rangs des pommes de terre (ou d'autres légumes, comme l'artichaut ou le chou-fleur). Il est possible de placer l'outil à l'arrière de la butteuse afin de réaliser les deux opérations en un seul passage. [41]	Ralentit le ruissellement et permet ainsi de conserver de l'humidité plus longtemps près des plants. [41]
<b>Adapter le travail du sol à la pente</b>	Améliorer les propriétés du sol	Adapter le travail du sol	"Adapter le travail du sol au sens de la pente en tenant compte du système érosif. Dans le cas de parcelles à pente suffisante pour générer de l'érosion, le travail du sol perpendiculairement ou en oblique par rapport au sens de la pente est à préférer au travail du sol dans le sens de la pente." [42]	"L'adaptation du travail du sol au sens de la pente permet de favoriser l'infiltration" (via la réduction du ruissellement) "ce qui conduit à améliorer la disponibilité en eau." [42]

<b>Réduire le travail du sol</b>	Améliorer les propriétés du sol	Adapter le travail du sol	Réduire le labour, par exemple en pratiquant : >Le semis direct (travail uniquement sur la ligne de semis) >Le labour occasionnel (1 an sur 5) >Le travail superficiel du sol (comme le binage : travail entre les lignes de cultures, en cours de culture) [43]	Les techniques de travail du sol réduit pourraient permettre : >De modifier la porosité du sol dans le sens de l'augmentation de ses capacités de stockage [2] et de l'amélioration des capacités d'exploration racinaire. [44] Le binage provoque un ameublissement du sol, ce qui induit : >Un assèchement des premiers centimètres et une rupture de capillarité avec les horizons sous-jacents, ce qui provoque un "effet mulch" limitant l'évaporation. [45] >Une amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol. [46]
<b>Prévenir le tassement</b>	Améliorer les propriétés du sol	Limiter le tassement	Mettre en œuvre des actions préventives contre le tassement, comme par exemple : >Limiter le poids des machines. [47] >Choisir des pneus réduisant le tassement de surface (carcasse radiale, pneus élargis ou grand volume, jumelage) [48] >Ajuster de la pression de gonflage à la charge supportée. [48] >Réduire les surfaces affectées par les passages de roues. [48] [47] >Récolter en conditions sèches. [49] >Observer régulièrement l'état structural du sol en profondeur. [47]	Cela permet de limiter les zones tassées et les ornières, et donc de maintenir une porosité favorable à l'infiltration de l'eau dans le sol (limitation des pertes par ruissellement) et une meilleure colonisation racinaire du profil.
<b>Réaliser un travail du sol profond sans retournement</b>	Améliorer les propriétés du sol	Limiter le tassement	Réaliser un travail du sol profond sans retournement comme un pseudo-labour, un décompactage ou un sous-solage. [50]	>Ameublissement du sol permettant aux racines d'exploiter des horizons plus profonds. [1] [51] >Amélioration de l'infiltration de l'eau. [51]
<b>Cultiver en hydroponie ou en aéroponie</b>	Cultiver sous abri	NA	>En hydroponie, les racines sont immergées dans une solution nutritive.	>Cela permet le recyclage de l'eau. >Ces techniques sont supposées favoriser un développement racinaire important (l'aéroponie)

			>En aéroponie, les racines pendent dans l'air et sont brumisées avec des solution nutritives. [52]	permettrait un meilleur développement racinaire que l'hydroponie [52]).
<b>Améliorer le contrôle du climat sous serre</b>	Cultiver sous abri	NA	Différentes installations permettent de baisser la température sous serre : >La ventilation, naturelle ou forcée [53] >L'ombrage [val'hor vaecc] >Le cooling [val'hor vaecc] >Le fogging [interfel vaecc].	>Baisser la température de la serre et donc limiter les risques de stress thermique et d'évapotranspiration.
<b>Cultiver sous abri/ombrage</b>	Cultiver sous abri	NA	>Pratiquer l'agrivoltaïsme. >Installer des abris de protection en verre ou en plastique (maraîchage). >Installer des filets d'ombrage (viticulture). [7]	>L'ombre limite l'évapotranspiration. >Les abris peuvent permettre la récupération d'eau via les toitures.
<b>Pratiquer l'agroforesterie intraparcellaire</b>	Installer des infrastructures agro-écologiques	Favoriser la présence d'arbres	Cultiver des arbres et des cultures assolées sur les mêmes parcelles. [54]	>La présence des arbres crée un microclimat grâce à leur ombre, leur transpiration et une potentielle diminution de la vitesse du vent, ce qui réduit la transpiration de la culture, et, dans le cas d'un élevage, améliore le confort thermique des animaux. >L'infiltration de l'eau est également améliorée. >L'accumulation de matière organique peut augmenter la capacité de stockage de l'eau à moyen terme. [54] >Les arbres, contraints de développer un système racinaire plus profond, deviennent alors plus tolérants aux éventuelles sécheresses. [7]
<b>Entretien ou Implanter des haies</b>	Installer des infrastructures agro-écologiques	Favoriser la présence d'arbres	Entretien ou implanter des arbres en périphérie des parcelles. [43]	Les mécanismes sont similaires à ceux de l'agroforesterie (modification du microclimat et amélioration des propriétés du sol), mais sous une forme moins importante, car les arbres ne sont qu'en bordures de parcelles (l'ombrage est par exemple limité aux rangs en bordures).
<b>Entretien ou créer des talus</b>	Installer des infrastructures agro-écologiques	NA	>Maintenir d'anciens talus ou, selon la situation, en créer de nouveaux. [55] >Le talus peut être planté de haies, ou non. [55]	"En bloquant le ruissellement (ce qui favorise l'infiltration de l'eau au bord du talus), les talus réduisent légèrement le risque de stress hydrique." [55]



<p><b>Optimiser la greffe</b></p>	<p>Optimiser la conduite des cultures pérennes</p>	<p>NA</p>	<p>Optimiser la greffe, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;En utilisant un greffon de qualité (non malade) et suffisamment long. [expert viticulture]</li> <li>&gt;En faisant des greffes sur place, en terre (au lieu de faire croître en pépinière et d'implanter). [expert viticulture]</li> <li>&gt;En jouant sur les méthodes ou la période de greffe. [56]</li> </ul>	<p>Ces éléments déterminent en partie la qualité et la densité de l'enracinement et donc la capacité d'extraction d'eau du sol et à la détection de la sécheresse. [56]</p>
<p><b>Optimiser l'implantation (cultures pérennes)</b></p>	<p>Optimiser la conduite des cultures pérennes</p>	<p>Optimiser l'implantation</p>	<p>Améliorer la qualité de l'implantation peut passer premièrement par une bonne préparation du sol avant la plantation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Jouer sur la durée de la jachère avant l'implantation. [expert viticulture]</li> <li>&gt;Possibilité de décompacter le sol, soit avec un travail du sol particulier (ex : sous-solage) [expert viticulture] [cihef vaecc], soit en exploitant le potentiel de décompaction de racines pivotantes. [expert viticulture]</li> </ul> <p>En viticulture, pour favoriser le bon développement des racines, on préconise :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Pour une plantation à la machine, la longueur optimale des racines est estimée à 4-5cm. [57]</li> <li>&gt;Pour une plantation à la main, disposer les racines longues "en étoile". [58]</li> <li>&gt;Praliner les racines (tremper les racines dans un mélange de bouse et d'argile avant la plantation). [59]</li> </ul> <p>En lavande, plusieurs possibilités sont envisagées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Jouer sur la profondeur de plantation. [cihef vaecc]</li> <li>&gt;Choisir un type de plant adapté (racines nues ou mini mottes). [cihef vaecc]</li> </ul>	<p>&gt;Le but est de favoriser un enracinement profond et d'établir un système racinaire plus ramifié. [cihef vaecc]</p> <p>&gt;Pour la vigne :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;&gt;Cette longueur de racine à la plantation offre une répartition plus homogène et plus profonde des racines au cours du temps. [57]</li> <li>&gt;&gt;La disposition "en étoile" permet une prospection du sol plus importante encore. [58]</li> <li>&gt;&gt; "Une fois la plantation effectuée, le pralin apporte à la vigne davantage de contact entre le sol et les racines et un environnement favorable au développement racinaire. La littérature spécialisée s'accorde à dire que le pralin est riche en microorganismes symbiotiques favorisant l'absorption hydrique et la nutrition minérale." [59]</li> </ul>

<b>Planter perpendiculairement à la pente (cultures pérennes)</b>	Optimiser la conduite des cultures pérennes	Optimiser l'implantation	Planter perpendiculairement à la pente, et dans le cas d'une pente supérieure à 15%, il est conseillé de planter en suivant les courbes de niveaux [60] (c'est-à-dire en créant des terrasses) [expert viticulture]	Ralentit le ruissellement. [35]
<b>Appliquer de l'argile blanche (cultures pérennes)</b>	Optimiser la conduite des cultures pérennes	Réduire l'exposition au soleil	Pulvériser de l'argile blanche (kaolin) sur les feuilles et fruits des cultures.	Un film minéral recouvre la végétation d'un filtre à haute réflectivité, ce qui permet le refroidissement et la réduction de l'échaudage des feuilles et des fruits. [61] [62]
<b>Adapter la hauteur du feuillage (cultures pérennes)</b>	Optimiser la conduite des cultures pérennes	Réduire l'exposition au soleil	Adapter la taille pour réduire l'exposition au soleil.	Joue sur l'interception de la lumière [63] et donc la transpiration.
<b>Tailler les feuilles après véraison (viticulture)</b>	Optimiser la conduite des cultures pérennes	NA	Effectuer une taille des feuilles après la véraison. [56]	Permet de retarder la date de récolte, ce qui permet une stratégie d'esquive. [56][expert viticulture]
<b>Adapter l'orientation des rangs (cultures pérennes)</b>	Optimiser la conduite des cultures pérennes	Réduire l'exposition au soleil	Orienter les rangs en direction Est-Ouest permet de réduire en moyenne 10 à 15% de rayonnement intercepté (par rapport au Nord-Sud). [63]	Limite les risques de stress thermique et la transpiration.
<b>Adapter la densité du couvert</b>	NA	NA	>Jouer sur la densité du couvert en adaptant : >>La densité de semis [1] ou de plantation [expert viticulture] >>La fertilisation azotée >>La taille des inter-rangs [1] >En cultures pérennes, il est possible de jouer sur la densité du feuillage via le choix du mode de conduite (structure du bois) [63] [expert viticulture] Dans les premières années, on peut jouer sur la hauteur du tronc et sur les formes de tailles. Ensuite, on peut aussi adapter les interventions annuelles de taille. [expert viticulture]	Deux stratégies s'opposent : >La fermeture du couvert, qui consiste à accroître la densité de peuplement dans le but de réduire l'évaporation au sol et de contrôler les adventices (et donc la concurrence pour la ressource en eau). [1] >Le rationnement végétatif, dont l'objectif est de limiter le développement de la surface foliaire, et donc de la transpiration. [3] En viticulture, on considère que le choix du mode de conduite joue directement sur le microclimat de la vigne. Par exemple, en climat méditerranéen, le mode de conduite en "gobelet" est préconisé compte tenu de

				sa capacité à créer un microclimat plus frais. [expert viticulture]
<b>Appliquer des biostimulants</b>	NA	NA	Il existe peu de références scientifiques sur le sujet. Appliquer par pulvérisation (seul ou en mélange avec un autre intrant) des biostimulants (substance permettant de "stimuler les processus naturels pour améliorer ou avantager l'absorption ou l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, et la qualité des cultures"). [64]	L'impact présumé de ces substances peut être varié : > Limiter la transpiration (par exemple avec l'ABA ou le Silicium). [43] > Améliorer le développement racinaire. [43] > Améliorer la capacité de rétention d'eau dans les cellules. [43] > Améliorer la tolérance au stress hydrique par accumulation d'osmolytes. [64]
<b>Adapter les horaires des repas ou du pâturage</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	NA	> Pour les ruminants, il est préférable de multiplier les distributions afin de proposer des quantités réduites à chaque prise alimentaire, permettant ainsi d'écrêter les pics de fermentation ruminale et d'éviter les phénomènes de tri. [65] > Distribuer la majorité de la ration aux heures les plus fraîches. [expert aviculture] > Lors de vagues de chaleurs, il peut être préférable de pratiquer le pâturage nocturne (d'autant plus si la zone pâturée n'est pas ombragée). [66]	> En ingérant les aliments, les animaux produisent plus de chaleur. Apporter l'alimentation aux horaires où la température est basse permet de limiter les risques de stress thermique. [expert aviculture] Pour le pâturage, cela limite l'exposition aux températures élevées. > Les animaux réduisent leur consommation alimentaire en période chaude. [65] Cela permet donc de limiter cet effet.
<b>Réduire l'inflammation digestive (aviculture)</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	Apporter des aliments réduisant les conséquences du stress thermique	Apporter des extraits de plantes limitant le phénomène d'inflammation digestive.	La chaleur modifie les flux sanguins des volailles dans le sens d'une diminution des flux au niveau du tube digestif, ce qui peut provoquer des inflammations du tube digestif. Cela induit une baisse de consommation alimentaire des volailles. [expert aviculture]

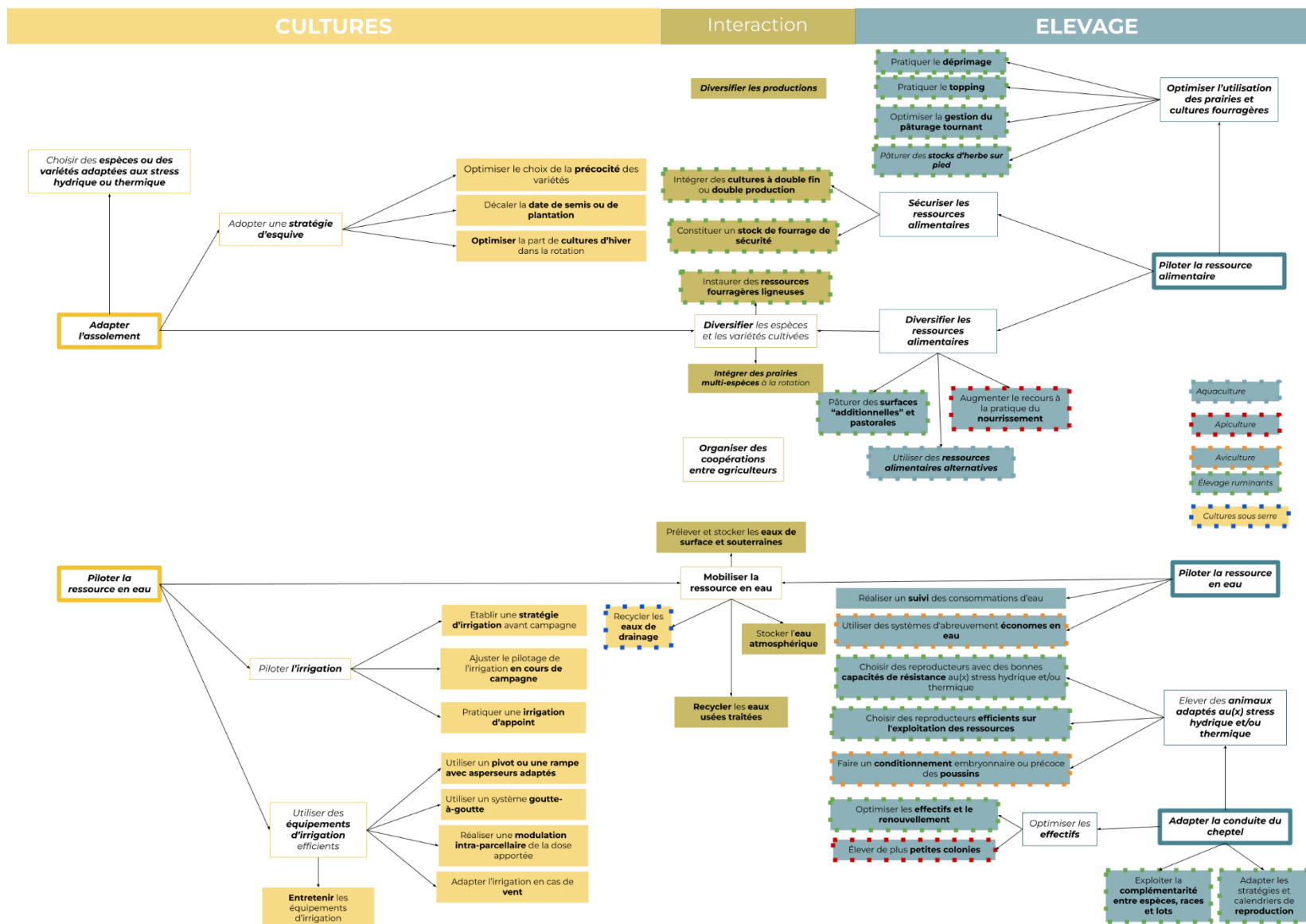
<b>Adapter la ration pour réduire la production d'extra chaleur (aviculture)</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	Apporter des aliments réduisant les conséquences du stress thermique	Il est possible de limiter la production d'extra chaleur liée à la digestion, en adaptant la ration. Par exemple, chez les volailles, en augmentant le taux de matière grasse dans la ration. [expert aviculture]	Réduction du stress thermique.
<b>Augmenter l'appétence de la ration</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	Apporter des aliments réduisant les conséquences du stress thermique	<p>&gt;Incorporer de l'eau à la ration permet d'augmenter l'appétence.</p> <p>&gt;En aviculture, enrichir la ration en huiles permet d'augmenter l'appétence. [itavi vaecc]</p> <p>&gt;Limiter l'échauffement à l'auge en :</p> <p>&gt;&gt;Stockant à l'ombre</p> <p>&gt;&gt;Exposant le silo au nord ou à l'est [65]</p> <p>&gt;&gt;Ajoutant des additifs ou conservateurs de fourrage (mélanges de bactéries et d'enzymes). [67]</p> <p>&gt;&gt;Contrôlant régulièrement au thermomètre la température du fourrage.</p>	<p>&gt;En cas de stress thermique, les animaux compensent en réduisant leur consommation de fourrage (notamment les ruminants, car la rumination produit beaucoup de chaleur). Ces techniques permettent d'augmenter l'appétence des aliments et donc de contrebalancer cet effet. [65]</p> <p>&gt;Un fourrage subissant un échauffement perd en appétence et en valeur alimentaire. Ainsi, ces techniques permettent d'éviter cette perte de qualité et d'appétence. [68]</p>
<b>Ajouter des antioxydants</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	Apporter des aliments réduisant les conséquences du stress thermique	Enrichir la ration en composé antioxydants.	Réduire le stress oxydatif généré par le stress thermique. [expert aviculture]
<b>Utiliser les fourrages de meilleure valeur alimentaire lors des périodes de forte chaleur</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	Apporter des aliments réduisant les conséquences du stress thermique	En période de forte chaleur, apporter une alimentation plus riche en protéines et en énergie. [69] [expert aviculture]	Les animaux se nourrissent moins en cas de chaleur, apporter une ration plus riche en énergie aide à limiter les impacts de ce phénomène. [69] [expert aviculture]

<b>Compenser les pertes électrolytiques</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	Apporter des aliments réduisant les conséquences du stress thermique	Ajouter à la ration des composés permettant de compenser les pertes électrolytiques. [70][itavi vaecc]	Le stress thermique peut provoquer un déficit électrolytique pouvant avoir pour conséquence une augmentation de la déshydratation. [70] [expert aviculture] Des composés ajoutés à l'alimentation peuvent compenser ce mécanisme.
<b>Ajouter de l'eau à la ration</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	Adapter les apports d'eau	>En cas de fortes températures, ajouter de l'eau dans la ration (à hauteur de 3 à 5 litres par vache). [65] >En aviculture, il est envisagé d'apporter les aliments sous forme réhydratée.	Cela permet d'améliorer l'appétence (car l'appétit des animaux décroît en périodes chaudes) et d'augmenter l'apport d'eau aux animaux. [65] [expert aviculture]
<b>Vérifier les conditions d'accès à l'eau</b>	Adapter l'alimentation et l'abreuvement	Adapter les apports d'eau	>Ruminants: >>Au bâtiment et au pâturage, s'assurer de la fraîcheur, de la qualité, de la quantité, du débit, de la taille, de la proximité et de la localisation des points d'abreuvements pour assurer à tous les animaux un bon accès à l'eau (par exemple, si l'ombre est restreinte et que le point d'eau est à l'ombre, les individus dominants vont s'y installer, induisant des difficultés d'accès pour les autres). >>Pour les bovins, la réserve d'eau ou le débit sont insuffisants quand on entend des bruits de succion. Si des vaches attendent avant de boire, c'est que le nombre, la longueur ou l'espace autour des abreuvoirs sont insuffisants. [66] >Apiculture : S'installer à proximité d'un point d'eau en permanence. [expert apiculture]	>Bovins : Le besoin en eau peut doubler en période de fortes chaleurs. La disponibilité en eau d'abreuvement est souvent un facteur limitant dans les élevages alors que la consommation d'eau par temps chaud participe à la thermorégulation. [66] >Apiculture : En plus de l'abreuvement, l'eau est indispensable pour permettre aux abeilles de rafraîchir leur ruche et éviter le stress thermique. [expert apiculture]
<b>Réduire le rayonnement direct et indirect du soleil dans les bâtiments</b>	Protéger les animaux de la chaleur	Protéger les animaux en intérieur	>"Les ouvertures (portes, rideaux) doivent être gérées pour concilier au mieux ombre dans le bâtiment et circulation de l'air." >"Les animaux doivent être protégés du rayonnement direct ou indirect du soleil, en limitant voire en supprimant (pour les rampants de toitures exposés au soleil) les translucides en toiture, en rendant les translucides opaques avec de la peinture, en aménageant des débords de toiture, en posant des filets d'ombrage,	Le rayonnement direct et indirect du soleil à l'intérieur des bâtiments peut impacter localement de plusieurs degrés la température ressentie par l'animal. [66]

			<p>et en réduisant la hauteur des murs en béton à proximité des animaux."</p> <p>&gt;Il est possible d'utiliser des peintures augmentant l'effet d'albédo sur les toitures. [itavi vaecc]</p> <p>&gt;"Un environnement enherbé autour du bâtiment apporte de la fraîcheur alors que le béton, les galets, les pierres ou le goudron, emmagasinent de la chaleur qui sera restituée la nuit." [66] [71]</p>	
<b>Améliorer la ventilation naturelle</b>	Protéger les animaux de la chaleur	Protéger les animaux intérieurs	<p>&gt;"Le bâtiment doit ressembler à un parasol avec de larges ouvertures en partie basse sur les longs-pans permettant ainsi une circulation transversale de l'air. Selon l'orientation, des bardages peuvent être démontés provisoirement ou remplacés par des ouvertures modulables, comme des volets." [66]</p> <p>&gt;Utiliser des OAD, telles que shelt'air : "outil de l'idèle de dimensionnement des ouvertures ventilantes proposant des références pour améliorer la ventilation naturelle des bâtiments." [interbev vaecc]</p>	Une bonne ventilation abaisse la température ressentie par les animaux [66]
<b>Installer une ventilation mécanique</b>	Protéger les animaux de la chaleur	Protéger les animaux intérieurs	<p>&gt;La ventilation mécanique n'est pas prioritaire mais peut venir en appoint quand les méthodes de réduction du rayonnement et de ventilation naturelle ne sont pas suffisantes. [66] [71]</p> <p>&gt;Utiliser des "systèmes de ventilation optimisés pour fournir une vitesse d'air constante et maîtrisée pour l'intégralité des animaux." [itavi vaecc]</p>	Le flux d'air généré par les ventilateurs va faciliter l'évacuation de la chaleur. [66]
<b>Installer la brumisation et le douchage</b>	Protéger les animaux de la chaleur	Protéger les animaux intérieurs	<p>Ces solutions sont à installer en dernier recours (après l'ombrage, et en complément de la ventilation) :</p> <p>&gt;Brumisation basse pression (uniquement dans la situation où elle est projetée vers les ventilateurs afin d'éclater les gouttes) ou haute pression (toutes autres situations).</p> <p>&gt;Douchage (dans le cas d'une traite conventionnelle, elle peut être disposé à l'aire d'attente, pour que les animaux en bénéficient 2 fois par jour. Le douchage à l'auge est envisageable en traite robotisée). [71]</p>	Ces techniques permettent de reproduire le phénomène de transpiration chez les animaux. L'évaporation de l'eau dans le bâtiment entraîne une diminution de la température ambiante si l'air est sec. La brumisation provoque un rafraîchissement autour de l'animal, tandis que le douchage permet une réduction directe de la température corporelle. [71]

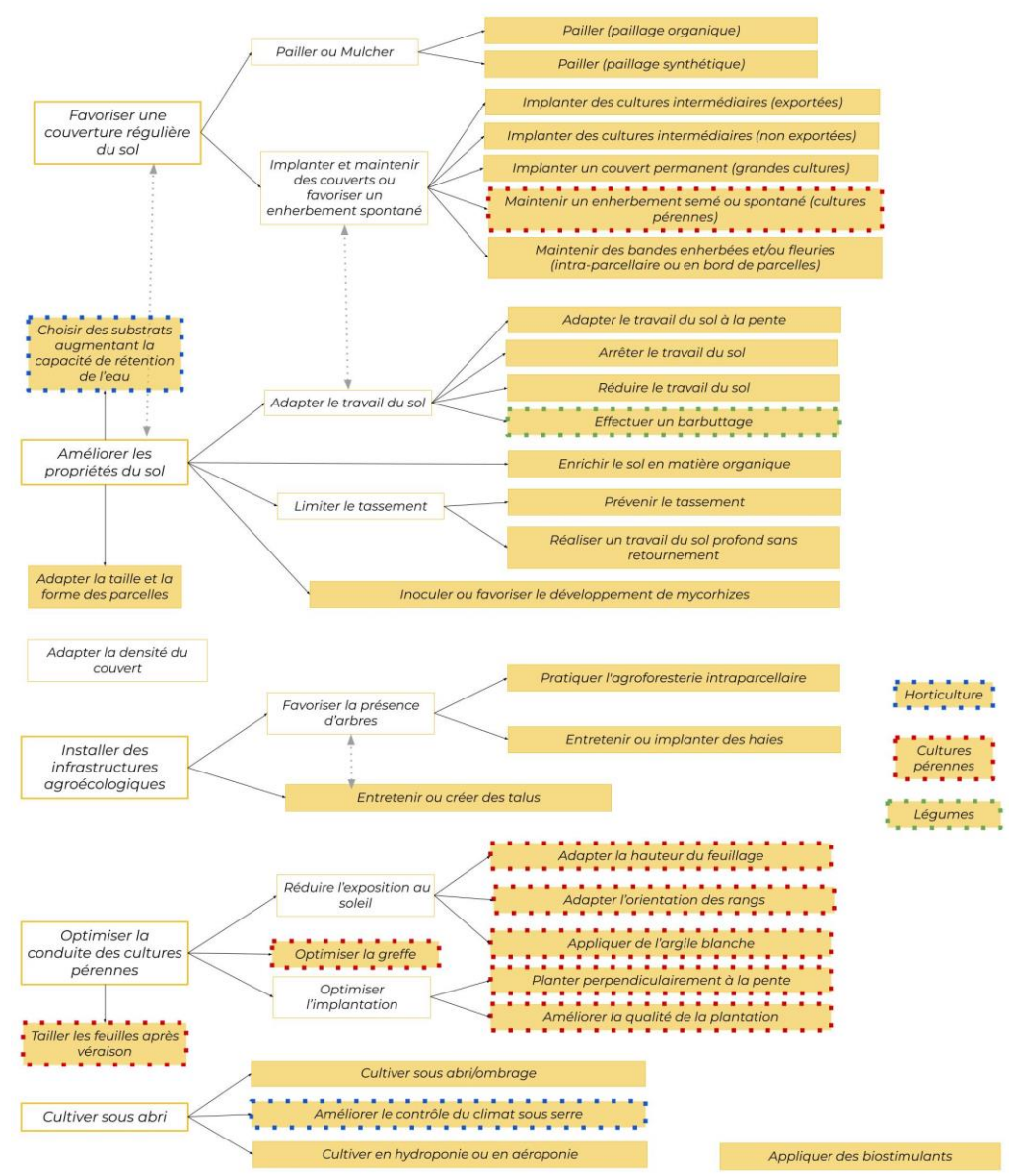
<p><b>Anticiper et évaluer les risques pour gérer les stress hydrique et thermique</b></p>	<p>Protéger les animaux de la chaleur</p>	<p>NA</p>	<p>Les équipements sont variables en fonction des filières &gt;Anticiper ses propres capacités d'adaptation à de potentielles vagues de chaleur en vérifiant régulièrement le bon fonctionnement des ventilateurs et des entrées d'air. [expert aviculture] &gt;Utiliser des outils d'alerte : Par exemple HappyGrass ou ThermoTool, qui incluent un outil d'alerte au stress thermique. Il est basé sur le calcul du THI (=index température humidité) à partir des données météorologiques en flux constant et localisées. [cniel vaecc] [72] &gt;Estimer les besoins en eau des animaux en fonction du type de ration, du niveau de productivité ou de la température. Il existe des références, qui restent à parfaire.</p>	<p>Anticiper les pics de chaleurs dans le but d'adapter plus efficacement les pratiques et la nutrition des animaux pour limiter les conséquences négatives du stress thermique.</p>
<p><b>Utiliser des matériaux isolants</b></p>	<p>Protéger les animaux de la chaleur</p>	<p>Protéger les animaux en intérieur</p>	<p>Utiliser des matériaux isolants pour la construction des infrastructures d'élevages (bâtiments, ruches). Il est possible d'utiliser des peintures augmentant l'effet d'albédo sur les toitures. [itavi vaecc] [expert apiculture]</p>	<p>Limiter les échanges thermiques avec l'extérieur pour protéger les animaux du stress thermique.</p>
<p><b>Apporter de l'ombrage aux animaux en extérieur</b></p>	<p>Protéger les animaux de la chaleur</p>	<p>Protéger les animaux en extérieur</p>	<p>&gt;Reboiser autour des parcelles (ou des cours d'eau pour l'aquaculture). &gt;Pratiquer l'agrovoltaïsme (cela consiste à installer un "étage" de panneaux photovoltaïques sur une parcelle cultivée). [73] &gt;Utiliser d'autres structures d'ombrage (voiles d'ombrages...).</p>	<p>Les structures d'ombrage ont pour objectif de réduire la température ressentie par les animaux.</p>
<p><b>Adapter les conditions de transport et d'attente à l'abattoir</b></p>	<p>Protéger les animaux de la chaleur</p>	<p>Protéger les animaux en extérieur</p>	<p>&gt;Vérifier les températures tout au long du trajet vers l'abattoir. [expert aviculture] &gt;Au niveau du quai de chargement, vérifier que les animaux soient protégés du soleil. [expert aviculture]</p>	<p>En plus des désagréments causés aux animaux, le stress ante mortem peut jouer sur la qualité de la viande. [expert aviculture]</p>

### Diagramme des leviers à l'échelle de l'exploitation



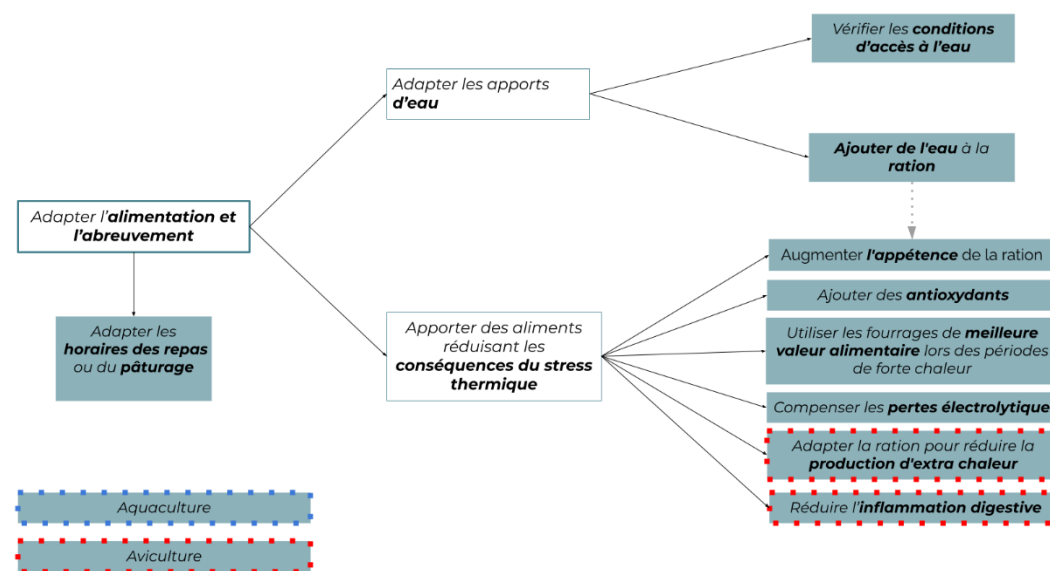
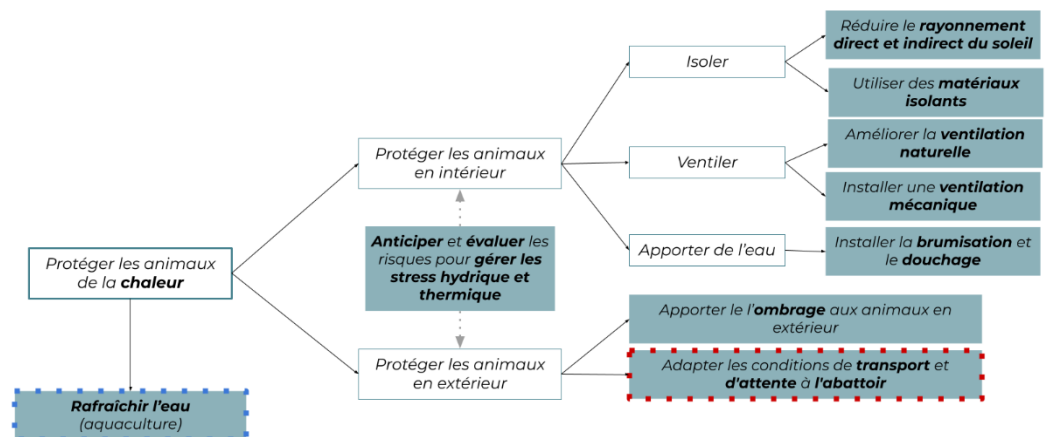


### Diagramme des leviers à l'échelle de la parcelle



Quels leviers d'adaptation au changement climatique ? Gérer les stress hydrique et thermique

Diagramme des leviers à l'échelle de l'animal



## Bibliographie

Ce document est basé sur les 86 documents de **contributions de filières et des parties prenantes** ayant participé au Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique (VAECC), ainsi que sur des **entretiens avec différents experts**.

Certains sont cités ici avec les mentions suivantes :

[expert] Dires d'experts

[interfel vaecc] Fruits et légumes (interfel)

[maraichers nantais vaecc] Fruits et légumes (maraîchers nantais)

[val'hor vaecc] Horticulture (val'hor)

[fam gc vaecc] Grandes cultures (synthèse de FranceAgriMer)

[aibs vaecc] Betterave (aibs)

[cihef vaecc] Lavande (cihef)

[intercéréales vaecc] Céréales (intercéréales)

[interbev vaecc] Bovins viande (interbev)

[cniel vaecc] Lait (cniel)

[fge vecc] Génétique Elevage (fge)

[cipa vaecc] Poissons d'aquaculture (cipa)

[interapi vaecc] Apiculture (interapi)

[itavi vaecc] Aviculture et cuniculture (itavi)

## Autres sources

- [1] J. P. Amigues *et al.*, « Sécheresse et agriculture - Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau », Expertise scientifique collective, Rapport, INRAE, 2006.
- [2] G. Bodner, A. Nakhforoosh, et H.-P. Kaul, « Management of crop water under drought: a review », *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 35, 2015.
- [3] P. Debaeke, J.-E. Bergez, et D. Leenhardt, « Perspectives agronomiques et génétiques pour limiter ou réguler la demande en eau d'irrigation », <http://dx.doi.org/10.1051/ihb:2008067>, vol. 94, 2008.
- [4] N. Guingand, J.-B. Dolle, et C. Aubert, « Guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevage », 2010.

- [5] B. Clarke, « Le recyclage des eaux usées profite aussi aux pâturages », actu-environnement.com, 2018. Disponible sur : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/recyclage-eaux-usees-paturages-32424.php4>
- [6] B. Bourbon, « AQUAREL - Résultats de l'enquête menée auprès des transformateurs laitiers », 2018.
- [7] B. Itier, « L'aridoculture », plantes-et-eau.fr, 2010. Disponible sur : <https://www.plantes-et-eau.fr/documentation/agronomie-de-l-eau/37-aridoculture/84-l-aridoculture>
- [8] ARVALIS - Institut du végétal, Outils de pilotage de l'irrigation par aspersion. De l'indicateur à la méthode, 2020.
- [9] « ASALEE, un outil d'aide au choix d'assolement pour une meilleure gestion des volumes d'eau d'irrigation », initiativesfleuves.org. Disponible sur : <https://www.initiativesfleuves.org/vos-solutions/asalee-un-outil-daide-au-choix-dassolement-pour-une-meilleure-gestion-des-volumes-deau-dirrigation/>
- [10] « Mesurer la croissance du végétal - Le dendromètre connecté », agriscope.fr. Disponible sur : <http://www.agriscope.fr/mesurer-la-croissance-du-vegetal-grace-dendrometre-connecte/>
- [11] S. Geerts et D. Raes, « Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas », Agric. Water Manag., vol. 96, no 9, p. 1275-1284, 2009.
- [12] T. Oweis, Supplemental Irrigation : A Highly Efficient Water-Use Practice, 1997.
- [13] « Rapport du CGAAER / CGEDD - Changement climatique, eau et agriculture d'ici 2050 », agriculture.gouv.fr, 2020. Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/rapport-du-cgaaer-cgedd-changement-climatique-eau-et-agriculture-dici-2050>
- [14] ARVALIS - Institut du végétal, Matériels d'irrigation des grandes cultures, 2017.
- [15] « Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique : 2e conférence de la thématique 2 », 2021. Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/varenne-agricole-de-leau-et-de-ladaptation-au-changement-climatique-2e-conference-de-la-thematique-2>
- [16] « Irriguer en maximisant l'efficacité des apports d'eau - GECO », geco.ecophytopic.fr, 2018. Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Irriguer\\_En\\_Maximisant\\_L\\_Efficience\\_Des\\_Apports\\_D\\_Eau](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Irriguer_En_Maximisant_L_Efficience_Des_Apports_D_Eau)
- [17] RMT Prairies Demain, « Prairies temporaires et rotations - une multitude de services rendus à l'agriculture », 2018.
- [18] IDELE, « Conduire des cultures à double fin ou à double production »
- [19] SCOPELA, « Les ressources ligneuses - fiche technique », 2017.
- [20] « Pâturage tournant : Dictionnaire d'agroécologie ». Disponible sur : <https://dicoagroecologie.fr/dictionnaire/paturage-tournant/>
- [21] ELVEA Nord pas de calais, « Le pâturage tournant dynamique en élevage bovin : retours d'expériences et bénéfices chiffrés ».
- [22] Chambre d'agriculture de Lozère, « Pâturage tournant dynamique - Un levier pour l'autonomie en agriculture biologique », 2019.
- [23] « [Sécheresse et pâturage] Le topping pour faire face à une pousse de l'herbe insuffisante », Web-agri.fr, 2020. Disponible sur : <https://www.web-agri.fr/herbe/article/169703/le-topping-pour-faire-face-a-une-pousse-de-l-herbe-insuffisante>
- [24] « Déprimage : Dictionnaire d'agroécologie ». Disponible sur : <https://dicoagroecologie.fr/dictionnaire/deprimage/>

- [25] Chambres d'agriculture de Bretagne, « Le pâturage des stocks sur pied en été », 2010.
- [26] « Pâturer des stocks d'herbe sur pied – Encyclopediapratis.eu ». Disponible sur :  
<https://www.encyclopediapratis.eu/product/guide-paturage/paturer-des-stocks-dherbe-sur-pied/>
- [27] R. Vallée, « Evaluation génétique de la résistance à la chaleur des bovins laitiers - Synthèse bibliographique », 2021.
- [28] C. Vincent et al., « Impact d'une exposition embryonnaire à la chaleur sur le méthylome du poulet de chair », 2015.
- [29] H. Lagrange et S. Marsac, « Les CIVE contribuent aux apports de matière organique », Perspect. Agric., no 473, p. 51-54, 2020.
- [30] « Couverture organique du sol | L'agriculture de conservation | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture », fao.org. Disponible sur : <https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/fr/>
- [31] J. Labreuche, « Les couverts permanents, une alternative aux cultures intermédiaires classiques », arvalis-infos.fr, 2021. Disponible sur : <https://www.arvalis-infos.fr/les-couverts-permanents-une-alternative-aux-cultures-intermediaires-classiques-@/view-19086-arvarticle.html>
- [32] « Planter des bandes enherbées et fleuries en bordures de parcelles », geco.ecophytopic.fr, 2021. Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Planter\\_Des\\_Bandes\\_Herbeuses\\_Et\\_Florales\\_En\\_Bordure\\_Des\\_Parcelles](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Planter_Des_Bandes_Herbeuses_Et_Florales_En_Bordure_Des_Parcelles)
- [33] « Contrat de solutions (7ème édition) », 2021.
- [34] ADEME, « Carbone organique des sols : enjeu pour le climat et l'agronomie », 2014.
- [35] Chambre d'agriculture du Var, « Limiter le ruissellement et l'érosion des sols agricoles ».
- [36] « Cultiver des espèces à mycorhizes - GECO », geco.ecophytopic.fr, 2019. Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Cultiver\\_Des\\_Especies\\_A\\_Mycorhizes](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Cultiver_Des_Especies_A_Mycorhizes).
- [37] Chambre d'agriculture Dordogne, « Les mycorhizes, des alliés dans l'alimentation et la protection des plantes », 2020.
- [38] Chambres d'agriculture de Seine-Maritime et Eure, « Organisation du parcellaire - pour un meilleur fonctionnement hydraulique du bassin versant »
- [39] « Agriculture de conservation des sols (ACS) », Triple Performance. Disponible sur : [https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Agriculture\\_de\\_conservation\\_des\\_sols\\_\(ACS\)](https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Agriculture_de_conservation_des_sols_(ACS))
- [40] Solagro, « Semis-direct sur couverture végétale (SDCV) - Synthèse technique ».
- [41] « Pomme de terre : Un barbutage vaut deux arrosages », Journal Paysan Breton, 2019. Disponible sur : <https://www.paysan-breton.fr/2019/06/pomme-de-terre-un-barbutage-vaut-deux-arrosages/>
- [42] « Adapter le travail du sol au sens de la pente - GECO », geco.ecophytopic.fr, 2018 Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Adapter\\_Le\\_Travail\\_Du\\_Sol\\_Au\\_Sens\\_De\\_La\\_Pente](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Adapter_Le_Travail_Du_Sol_Au_Sens_De_La_Pente)
- [43] INRA, « Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques », 2013.

- [44] « Pratiquer le strip-till - GECO », [geco.ecophytopic.fr](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Pratiquer_Le_Strip-till), 2018. Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Pratiquer\\_Le\\_Strip-till](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Pratiquer_Le_Strip-till)
- [45] « Binage », [tice.agroparistech.fr](https://tice.agroparistech.fr), 2012. Disponible sur : <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/SIAFEEAGRONOMIE9cea/document/machinisme/techniques/tc-tsol-binage.htm>
- [46] « Pratiquer le désherbage mécanique sur l'inter-rang - Binage - GECO », [geco.ecophytopic.fr](https://geco.ecophytopic.fr), 2021. Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Pratiquer\\_Le\\_Desherbage\\_Mecanique\\_-\\_Binage](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Pratiquer_Le_Desherbage_Mecanique_-_Binage)
- [47] V. Tomis, C. Turillon, et A. Duparque, « Gestion de l'état structural des sols - Effets des engins agricoles sur le tassement : quelles conséquences agronomiques et quelles solutions », 2016.
- [48] « Limiter les impacts des passages d'engins - GECO », [geco.ecophytopic.fr](https://geco.ecophytopic.fr), 2018. Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Limiter\\_Les\\_Impacts\\_Des\\_Passages\\_D\\_Engins](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Limiter_Les_Impacts_Des_Passages_D_Engins)
- [49] H. Boizard, G. Richard, P. Defossez, et J. R. Estrade, « Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien », *Étude Gest. Sols*, p. 10, 2004.
- [50] « Restructurer un sol tassé : bien choisir son outil », [arvalis-infos.fr](https://www.arvalis-infos.fr). Disponible sur : <https://www.arvalis-infos.fr/restructurer-un-sol-tasse-bien-choisir-son-outil-@/view-14001-arvarticle.html>
- [51] G. Trouche, « Sous-solage », 2017. Disponible sur : <https://loexplor.istex.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Sous-solage>
- [52] B. M. Eldridge et al., « Getting to the roots of aeroponic indoor farming », *New Phytol.*, vol. 228, no 4, p. 1183-1192, 2020.
- [53] « Nos 10 conseils en gestion climatique de serres », [caldor.fr](https://caldor.fr), 2019. Disponible sur : <https://caldor.fr/conseils-en-gestion-climatique-de-serres/>
- [54] « Pratiquer l'agroforesterie - GECO », [geco.ecophytopic.fr](https://geco.ecophytopic.fr), 2017. Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Pratiquer\\_L\\_Agroforesterie](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Pratiquer_L_Agroforesterie)
- [55] « Maintenir ou créer des talus - GECO » [geco.ecophytopic.fr](https://geco.ecophytopic.fr), 2018. Disponible sur : [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Maintenir\\_Ou\\_Creer\\_Des\\_Talus](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Maintenir_Ou_Creer_Des_Talus)
- [56] A. Naulleau, C. Gary, L. Prevot, et L. Hossard, « Evaluating Strategies for Adaptation to Climate Change in Grapevine Production - A Systematic Review », *Front. Plant Sci.*, vol. 11, p. 607859, 2021
- [57] « Des racines de 4 à 5 cm pour les plantations à la machine | Plan National Dépérissement du Vignoble », [plan-deperissement-vigne.fr](https://www.plan-deperissement-vigne.fr), 2021. Disponible sur : <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/webzine/fiche-technique-la-une/des-racines-de-4-5-cm-pour-les-plantations-la-machine>
- [58] « Favoriser la plantation avec les racines en étoile | Plan National Dépérissement du Vignoble », [plan-deperissement-vigne.fr](https://www.plan-deperissement-vigne.fr), 2021. Disponible sur : <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/webzine/fiche-technique-la-une/favoriser-la-plantation-avec-les-racines-en-etoile>

- [59] A. Petit (IFV) coord., « Innover en viticulture : 15 “bionnes” idées pour se lancer », 2017.
- [60] IFV, « Guide de l'agroécologie en viticulture », 2020.
- [61] J. Lambion et L. Romet, « L'argile : Une utilisation possible en maraichage biologique ? », 2005.
- [62] J. A. Santos et al., « Short-term adaptation of European viticulture to climate change : an overview from the H2020 Clim4Vitis action : Original language of the article : English. », IVES Tech. Rev. Vine Wine, 2021.
- [63] IFV, « Gestion du régime hydrique de la vigne - Colloque EUROVIT : compte-rendu technique », 2014.
- [64] Deloitte et RITTMO, « Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes – Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques », 2014.
- [65] R. Vallée (idele), « Impacts du stress thermique sur les vaches laitières », 2021.
- [66] B. Fagoo (idele), « Plan d'action pour adapter son bâtiment d'élevage laitier aux conditions chaudes estivales ».
- [67] « [Additifs fourrages] Des bactéries pour conserver les protéines », web-agri.fr, 2014. Disponible sur : <https://www.web-agri.fr/fourrage/article/103152/des-bacteries-pour-conserver-les-protéines>
- [68] « L'été arrive, attention à l'échauffement de votre silo ! », Journal Paysan Breton, 2020. Disponible sur : <https://www.paysan-breton.fr/2020/05/lete-arrive-attention-a-lechauffement-de-votre-silo/>
- [69] « Comment lutter contre le stress thermique sur le plan alimentaire », Réussir lait, 2019. Disponible sur : <https://www.reussir.fr/lait/comment-lutter-contre-le-stress-thermique-sur-le-plan-alimentaire>
- [70] F. Charly, O. Yngrid, B. Denis, et D. B. Vasco, « Amélioration de la résistance des poulets de chair au stress thermique par l'addition d'électrolytes dans l'alimentation ou l'eau de boisson », 2011.
- [71] B. Fagoo (idele), « Améliorer le confort thermique des vaches laitières en bâtiment en période chaude ».
- [72] « ThermoToolTM, l'application qui évalue le risque de stress thermique en élevage », groupe-ccpa.com. Disponible sur : <https://www.groupe-ccpa.com/fr/thermotool-lapplication-pour-lutter-contre-le-stress-thermique-en-elevage>
- [73] « Vers des systèmes agrivoltaïques conciliant production agricole et production d'électricité », inrae.fr, 2017. Disponible sur : <https://www.inrae.fr/actualites/systemes-agrivoltaïques-conciliant-production-agricole-production-delectricite>