

APPEL A PROJET AGENCE DE L'EAU RHONE MEDITERRANEE CORSE

Innovation et Expérimentation en Agriculture

**ORION**

**Outils d'aide à la décision innovants  
pour une meilleure utilisation de la ressource en eau  
et du potentiel nutritif du sol**

**Ardepi - APREL**

Mars 2017

Durée du projet : 36 mois (juillet 2017 à juin 2020)

**Mots clés :** agroécologie, azote, fertilité des sols, fonctionnement du sol, irrigation, maraîchage, matière organique, pilotage, qualité de l'eau

**Présentation du projet piloté par l'APREL en collaboration avec l'Ardepi**

### **A – Le contexte du projet**

En cultures légumières, le développement d'outil d'aide à la décision, pour le pilotage de la fertilisation azotée, comme la méthode PILazo®, et le pilotage des irrigations, comme le système de tensiométrie Watermark, a permis de réduire les quantités d'intrants apportées aux cultures, d'éviter les irrigations qui conduisent à des périodes de saturation et ainsi diminuer les risques de lessivage. Actuellement, la fertilisation organique est de plus en plus plébiscitée auprès des maraîchers en complément ou en remplacement de la fertilisation minérale. Mais les mêmes problématiques de quantité, de fréquence et de période d'apport se posent aux producteurs. De plus, la complémentarité entre fertilisation minérale et fertilisation organique doit être prise en compte pour le calcul des apports totaux à la culture. Enfin, l'irrigation est indissociable de la fertilisation pour éviter le lessivage des éléments de la solution du sol et permettre un bon fonctionnement de la plante. L'apport d'eau influence également l'activité microbienne du sol et par là, la minéralisation de l'azote contenue dans la matière organique du sol. Des conditions optimisées d'apport d'eau sont donc indispensables au bon fonctionnement du sol et de la plante et à une assimilation efficace des fertilisants. La mise à disposition des agriculteurs d'outils d'aide à la décision performants leur permettra d'ajuster leurs apports.

L'apport de matière organique (MO) constitue une source d'azote pour les cultures et assure ainsi pour partie un complément de fertilisation indispensable à la sécurisation des rendements agricoles. Cependant la forme organique de l'azote contenue dans la MO n'est pas directement assimilable par la plante. En effet, l'azote sous forme organique doit subir un processus de minéralisation pour être assimilé par les plantes. Ce processus biologique est lié à l'action des microorganismes du sol qui assurent les réactions d'ammonification (passage vers  $\text{NH}_4^+$ ) et de nitrification (passage vers  $\text{NO}_2^-$  puis vers  $\text{NO}_3^-$ ). La minéralisation étant un processus biologique, elle varie en fonction des facteurs du milieu (température, humidité, pH...), de la flore microbienne présente dans le sol et de son activité et du type de matière organique. Dans ce contexte, il est difficile d'estimer précisément les quantités d'azote apportées à la culture et surtout à quel moment l'azote va être libéré et rendu disponible pour la plante. Ce manque de référence sur la minéralisation de la MO peut être préjudiciable pour l'environnement et les ressources en eau. En effet, si l'azote minéralisé n'est pas consommé par les plantes, il peut être rapidement lessivé par les irrigations ou les pluies et entraîné vers les eaux souterraines avec les risques de pollution des eaux qui sont bien connus. La maîtrise des irrigations est essentielle pour ne pas lessiver les éléments contenus dans la solution du sol. De plus, parvenir à faire correspondre dans le temps la libération des éléments minéraux par la minéralisation avec les besoins de la culture et sa capacité d'assimilation participe à l'optimisation de la fertilisation. Pour parvenir à ce niveau de maîtrise des intrants eau et fertilisant, l'utilisation d'outils de pilotage performants et une expertise sur l'interprétation des données fournies par ces outils sont indispensables.

La base de données AZOPRO créée et administrée par le Ctifl recense les données sur 43 produits organiques, leur composition et leur cinétique de minéralisation en conditions contrôlées (<http://www.ctifl.fr/azopro/Pages/Accueil.aspx>). Ces données permettent d'estimer la quantité d'azote qui peut être libérée par tonne de produit organique et également de caractériser les périodes d'immobilisation et de libération de l'azote. Ces travaux mettent en évidence la diversité des produits organiques et de leur comportement. Les quantités d'azote libérable et les cinétiques de minéralisations sont souvent très différentes d'un produit organique à un autre. Cependant, les valeurs contenues dans cette base sont issues de mesures normalisées en laboratoire à 28°C, alors qu'en condition de culture, la température du sol varie entre 16 et 24°C, en moyenne. Il est donc possible de faire un choix entre les différentes matières organiques afin de conseiller les producteurs sur un produit adapté à la dynamique d'absorption de la culture mais il est difficile d'estimer les quantités et la période de disponibilité de l'azote à la culture.

Les outils actuels disponibles pour mesurer l'azote dans le sol (analyse de sol et extrait à l'eau) et dans la plante (méthode PILazo® (Raynal, 2005)) montrent des limites dans leur échantillonnage et leur interprétation. De plus, les méthodes pour quantifier les impacts de l'apport de MO dans le sol sont peu nombreuses et souvent difficiles à mettre en œuvre sur le terrain. Ces méthodes nécessitent souvent des appareillages complexes et le recours à des laboratoires spécialisés. En outre, la simple quantification du pourcentage de MO présente dans le sol, n'est pas suffisante pour bien comprendre et évaluer les effets de l'apport de MO sur la qualité des sols agricoles. En effet, il est tout à fait possible de rencontrer des sols avec des taux de matière organique élevés et qui présente pourtant un fonctionnement et une activité biologique faible à cause d'autres facteurs (pH élevé par exemple).

Afin de poursuivre le travail entamé sur la gestion des intrants agricoles, de nouveaux outils d'aides à la décision sont nécessaires. D'une part, parce qu'il faut fournir aux maraîchers des outils spécifiques pour la gestion de la fertilisation organique, **la mise au point d'outils de pilotage et de suivi simples et d'indicateurs fiables** utilisables sur le terrain par les conseillers techniques et les producteurs sont une étape indispensable **pour montrer les effets bénéfiques de l'apport régulier de MO dans le sol** et favoriser l'utilisation de ce type d'amendement par les producteurs de légumes en plein champ et sous abri. D'autre part, parce que **de nouveaux matériels pour le pilotage des irrigations permettent une gestion plus fine et plus réactive et doivent être testés** pour conseiller au mieux les maraîchers dans leur choix d'équipement. De plus, **des outils pour une réflexion globale de la fertilisation organo-minérale sont indispensables** pour les producteurs afin de prendre en compte toutes les sources d'azote apportées à la culture.

## **B - Etat de l'art**

De part l'azote libéré par le processus de minéralisation, la MO participe à la fertilité générale du sol (Wezel et al. 2014). Il est ainsi possible de substituer la fertilisation minérale par la fertilisation organique mais son rôle dans le sol est plus large et l'apport de MO peut avoir de nombreux impacts positifs sur le fonctionnement du sol. La MO est à la base de la chaîne trophique dans le sol, en servant de support pour le développement des microorganismes et des champignons qui y trouvent refuge et source de nourriture, elle favorise le développement de l'activité biologique et la biodiversité du sol (Tixier et al. 2013). De part ce rôle de support pour la croissance des populations microbiennes, la MO influence aussi la régulation des maladies telluriques en favorisant le développement des microorganismes antagonistes comme pathogènes (Boehm et al. 1993; Montagne et al. 2016). L'accroissement du taux de matière organique et de l'activité biologique

permet également l'amélioration des propriétés physiques du sol, favorisant la cohésion entre les agrégats, la micro et la macroporosité et réduisant ainsi le risque d'érosion (Haynes and Naidu 1998; Kibblewhite et al. 2008). En conséquence, l'amélioration de la structure du sol bénéficie à la régulation de l'eau en favorisant les infiltrations et la rétention ce qui limite directement les phénomènes de ruissellement et de percolation (Martínez-Blanco et al. 2013; Duru et al. 2015). En production maraîchère, cela peut également permettre de réduire le travail du sol et ainsi préserver la biodiversité du sol. Enfin, la MO est composée en majorité de carbone, cette quantité variant avec le type de MO, et participe alors au stockage du carbone (Bot and Benites 2005). L'ensemble de ces interactions met en évidence le rôle structurant de la matière organique dans la préservation de la qualité, de la fertilité et des services écosystémiques rendus par les sols maraîchers.

Afin de préserver la qualité des sols et de s'assurer de l'impact des changements de pratiques comme l'apport de matière organique, des outils de pilotage sont nécessaires. La qualité du sol est déterminée par les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol et leurs interactions (Kibblewhite et al. 2008). De nombreux indicateurs sont disponibles et il est indispensable d'effectuer un choix en fonction des objectifs d'amélioration et de l'utilisateur final (USDA NRCS, 2015). La caractérisation de la structure du sol peut être réalisée à l'aide d'un test simple, de mesure de la cohésion des agrégats, appelé test slake (Herrick et al. 2001). Ce test consiste à mesurer la vitesse de désagrégation dans l'eau de particules de sol grossières (>2.5mm), séchées à l'aire libre. Cette désagrégation est influencée par différents facteurs : le contenu en eau du sol, sa texture, sa granulométrie mais également par la quantité de matière organique. Plus la désagrégation est lente, meilleure est la cohésion des particules du sol. Ce test permet de qualifier la structure du sol, sa sensibilité à l'érosion, la quantité de particule de terre fine sans cohésion. Ainsi grâce à cette méthode simple, il est possible de mesurer l'influence d'un apport régulier de matière organique sur la structure du sol.

Le taux de MO ne dit rien de l'activité biologique du sol, et de la possibilité de minéralisation de l'azote et donc de mobilisation de cette ressource pour la plante. L'activité biologique du sol est pourtant un indicateur pertinent de la qualité du sol et de son fonctionnement (van Bruggen and Semenov 2000; Gamliel and van Bruggen 2016). Les techniques de mesure de la respiration microbienne permettent d'évaluer de cette activité biologique. Il existe différentes techniques, plus ou moins faciles à utiliser au champ (USDA National Resources Conservation Service 2009; Sassi et al. 2012; Renault et al. 2013). Ces techniques sont basées sur la mesure de la quantité de dioxyde de carbone libérée par le sol sur une unité de surface et de temps déterminés (kg/ha/j). Ce CO<sub>2</sub> libéré est la conséquence de l'activité aérobie de la décomposition de la MO par la microflore du sol pour leur croissance et leur fonctionnement ; il provient également de la respiration de la faune, des exsudats racinaires et éventuellement de la dissolution des carbonates dans la solution du sol (USDA National Resources Conservation Service 2009). La modification des pratiques agricoles influencent la composition et la dynamique des communautés microbiennes du sol (Henneron et al. 2014). En comparant les taux de respiration de différents sols amendés ou non avec de la matière organique, il est donc possible de caractériser l'impact des apports de MO sur la flore microbienne et de mettre en évidence des différences entre les produits organiques quant à leur impact sur l'activité biologique des sols.

Les travaux menés récemment par l'APREL et l'ARDEPI sur cultures de poivrons et tomates ont montré que la maîtrise de la fertilisation passe également par l'utilisation de réseaux d'irrigation performants et un pilotage maîtrisé de l'irrigation (Delmas & Goillon, 2015 ; Feuvrier & Goillon, 2015). Une réduction d'intrant azoté a été possible par un contrôle strict des apports d'eau sans pénaliser le rendement de la culture. Le pilotage de l'irrigation et celui de la fertilisation sont donc

indissociables si l'on souhaite limiter la pollution des nappes. En outre, une étude menée dans le cadre du GIS PICleg (Groupement d'Intérêt Scientifique pour la Production Intégrée en Cultures légumières) a mis en évidence l'importance de développer les outils de pilotage des irrigations adaptés aux besoins des producteurs de cultures maraîchères (Ricard & Lecompte 2015). Parmi les besoins exprimés ressortait particulièrement la recherche de fiabilité des outils utilisés et la rapidité d'accès aux données. Les sondes tensiométriques classiques ont montré leurs limites sur ces aspects (Hanson 2000). De nouveaux types d'outils de pilotage sont maintenant disponibles comme les sondes capacitatives (Dobriyal et al. 2012; Miller et al. 2014). De plus, grâce aux possibilités offertes par le développement des technologies numériques en termes de transmission et d'analyses des données et de support de diffusion (ordinateur, smartphone, tablette), de nouvelles utilisations de ces technologies sont apparues pour une gestion encore plus fine des irrigations (Miller et al. 2014). Cependant, ces matériels sont commercialisés auprès des producteurs sans avoir été évalués par des organismes d'expérimentation. Il est nécessaire d'en connaître les avantages, les applications et les limites afin de conseiller les producteurs dans leur démarche d'équipement et de gestion des intrants à la parcelle. Le réseau d'échange thématique européen Fertinnowa dont l'APREL est partenaire ([www.fertinnowa.com](http://www.fertinnowa.com)) recense ces technologies, disponibles à travers l'Europe. Ce projet, financé par le programme européen Horizon 2020, met en évidence la diversité des techniques et des technologies disponibles pour la gestion de l'irrigation et de la fertilisation. Il met également l'accent sur le fait que les maraîchers sont peu informés des systèmes existants et que le travail d'évaluation et de démonstration de ces technologies est indispensable pour lever les freins à leur utilisation.

### **C - Objectif du projet**

Ce projet propose une approche intégrative de la gestion du risque de pollution des eaux issu des pratiques agricoles, en raisonnant à la fois les apports d'eau et les apports de fertilisants et en proposant des modifications de pratiques agricoles, avec l'apport de matière organique, qui amélioreront, à moyen terme, la fertilité et le fonctionnement du sol. Le but général du projet est de construire une boîte à outils à destination des producteurs de légumes en plein champ et sous abri. Elle sera composée de nouveaux outils de pilotage de l'eau et de la fertilisation basés sur la teneur en eau et la salinité de la solution du sol, ainsi que d'indicateurs du fonctionnement du sol. L'application de ces outils permettra une réduction des intrants eau et fertilisation azotée, limitera le lessivage de l'azote en cours de culture et informera sur l'évolution et l'amélioration de la fertilité et de la qualité du sol afin d'accompagner les producteurs dans leurs changements de pratiques.

Pour cela, le projet proposé par l'APREL s'appuie sur des travaux expérimentaux et la mise au point de méthodes de terrain. Il comporte différents objectifs opérationnels dont un justifie le partenariat avec l'Ardepi:

Cet objectif consiste à proposer aux producteurs de légumes un outil fiable pour maîtriser les irrigations et des références en terme de pilotage de la fertirrigation. Le travail consistera à valider les performances, la fiabilité et l'ergonomie de nouveaux outils de pilotage des irrigations disponibles sur le marché. Ces outils sont indispensables pour la maîtrise des irrigations, la limitation du lessivage des intrants et pour la validation des résultats des expérimentations de fertilisation menées sur une culture irriguée.

## **D – Plan d’action de l’Ardepi**

Toutes les étapes du plan d’actions de l’Ardepi se feront en étroite collaboration avec l’équipe technique de l’APREL. Les parcelles d’expérimentation seront choisies pour pouvoir satisfaire aux exigences de l’ensemble du projet.

### **Action A - Parcelle sous abri rotation salade tomate**

**AA-1 Un diagnostic** de fonctionnement du réseau d’irrigation aspersion et goutte à goutte est nécessaire pour s’assurer d’une irrigation homogène sur l’ensemble de la parcelle d’expérimentation. Ce diagnostic comprendra :

- des mesures de débit et pression,
- une évaluation de l’uniformité d’irrigation,
- une étude des performances hydrauliques de l’installation de tête et du réseau de distribution,
- une analyse du dimensionnement du matériel et du fonctionnement complet de l’installation.

Les mesures seront réalisées à l’aide d’un compteur volumétrique à ultra-sons, manomètre et prise de pression rapide.

**AA-2 Une expertise** sur le pilotage en lien avec la pratique de la fertilisation menée par l’Aprel selon son plan d’actions.

Le suivi de l’irrigation sera réalisé à l’aide de la sonde capacitive « Drill and Drop » Triscan GPRS permettant un suivi de l’humidité, de la température et de la salinité du sol. Un conseil de pilotage de la ferti-irrigation sera réalisé au moins une fois par semaine et selon le besoin d’optimisation de la pratique.

La sonde permettra de mesurer le volume d’eau en mm présent dans le sol et la salinité du sol, la température du sol. Les mesures de salinité de la sonde capacitive seront mise en relation avec les mesures obtenues par l’Aprel afin de proposer une interprétation et d’en extrapoler un conseil auprès des producteurs.

Pour la culture sous abri, un suivi climatique spécifique à l’aide d’une station météorologique compacte, positionnée dans l’abri, sera réalisé. Les données agrométéorologiques seront corrélées aux mesures des sondes pour affiner le conseil auprès du producteur

**AA-3 Un test d’évaluation des performances** de matériels de pilotage innovants afin de proposer aux producteurs des outils fiables pour la maîtrise des irrigations. Ces outils sont indispensables pour la maîtrise des irrigations, la limitation du lessivage des intrants et pour la validation des résultats des expérimentations de fertilisation menées sur une culture irriguée. Le travail consistera à valider les performances, la fiabilité et l’ergonomie de nouveaux outils de pilotage des irrigations, disponibles sur le marché. Deux matériels seront comparés pour le pilotage de l’irrigation et de la fertilisation : les sondes capacitives Senteck Triscan associées à l’application Aqualis Irrimax 2D et les sondes à résistance électrique tensiométrique Watermark autonome :

- Les sondes capacitives Senteck Triscan (humidité, température et salinité associé à l'application Aqualis Irrimax 2D. permet de visualiser sous la forme d'une animation les passages d'eau entre les sondes. La sonde capacitive est équipée de plusieurs capteurs de mesure répartis tous les 10 cm qui permettent avec une seule sonde la mesure de plusieurs horizons du sol. Les capteurs mesurent l'eau présente dans le sol et la température du sol. La mesure est exprimée en mm d'eau et reflète la quantité d'eau présente dans le sol. De plus ces capteurs mesurent la salinité du sol. La sonde évalue la quantité de [sels](#) dissous dans l'eau du sol (tous sels confondus) la mesure est en Siémens. Il sera nécessaire afin de rendre cette mesure utilisable par les producteurs d'essayer d'établir une échelle d'équivalence en EC qui est la mesure de référence actuelle et de la mettre en parallèle des mesures d'azote obtenues par le suivi de l'Aprél.
- Afin de réaliser une modélisation du passage de l'eau dans le sol par le logiciel Irrimax 2D, la mise en place de deux sondes Triscan est nécessaire. Elles doivent être positionnées à une distance qui permette de contrôler le fonctionnement d'un goutteur ou d'un émetteur d'eau. La distance minimale et maximale sera aussi testée dans les situations d'irrigation localisée et d'irrigation par aspersion sur les parcelles sous abri et plein champ.

Ce matériel bénéficie d'une connexion réseau Sigfox qui permet d'envoyer les données mesurées directement à l'utilisateur sur un support numérique. La performance de ce réseau sera évaluée ainsi que la facilité d'utilisation de l'application sur ordinateur ou smartphone

- Les sondes tensiométriques Watermark équipées d'émetteur autonome Weenat associée à l'application WeenApp . La sonde à résistance électrique Watermark ne dispose que d'un seul capteur situé à l'extrémité de celle-ci, il est donc nécessaire de disposer de plusieurs sondes pour mesurer l'humidité du sol à différents horizons. La médiane des mesures est alors exprimée, le dispositif nécessite donc au minimum 6 sondes pour caractériser 2 profondeurs de mesures. La mesure est exprimée en Pascal sur l'application WeenApp et permet de mesurer la disponibilité de l'eau pour la plante. Un référentiel important sur l'utilisation de cette mesure en Centibar est déjà en possession de l'Ardepi.

Ce matériel bénéficie d'une connexion réseau GSM qui permet d'envoyer les données mesurées directement à l'utilisateur sur un support numérique. La performance de ce réseau sera évaluée ainsi que la facilité d'utilisation de l'application sur ordinateur ou smartphone sera également évaluée.

Cette comparaison précisera la fiabilité des sondes, l'ergonomie de l'application sur ordinateur ou Smartphone et le transfert possible de chacune des méthodes vers les producteurs.

Une caution scientifique sur le protocole et les résultats obtenus par l'Ardepi sera apportée par Bruno MOLLE (IRSTEA UMR G-Eau).

## **Action B - Parcelle plein champ carotte**

**AB-1 Un diagnostic** de fonctionnement du réseau d'irrigation est nécessaire pour s'assurer d'une irrigation homogène sur l'ensemble de la parcelle d'expérimentation. Ce diagnostic comprendra :

Des mesures de débit et pression, une évaluation de l'uniformité d'irrigation, une étude des performances hydrauliques de l'installation de tête et du réseau de distribution, analyse du

dimensionnement du matériel, du fonctionnement complet de l'installation. Le système d'irrigation utilisé en carotte est généralement de l'aspersion ou de la mini-aspersion. Les mesures seront réalisées à l'aide d'un compteur volumétrique à ultra-sons, manomètre et prise de pression rapide.

**AB-2 Une expertise** sur le pilotage en lien avec la pratique de la fertilisation menée par l'Apel selon son plan d'actions.

Le suivi de l'irrigation sera réalisé à l'aide de la sonde capacitive « Drill and Drop » GPRS permettant un suivi de l'humidité et de la salinité. Un conseil de pilotage de la ferti-irrigation sera réalisé au moins une fois par semaine et selon le besoin d'optimisation de la pratique.

La sonde permettra de mesurer le volume d'eau en mm présent dans le sol et la salinité du sol, la température du sol.

**AB-3 Un test comparatif** de matériels de pilotage innovants : La deuxième année de suivi la modalité matériel test sera placée sur la parcelle plein champ afin d'évaluer la performance des outils de pilotage dans un contexte sol, culture et pilotage de l'irrigation différent.

### **Action C – Synthèse et diffusion**

**AC – 1** En coordination avec l'APREL, deux journées de visite de terrain seront organisées pour un public de techniciens et producteurs ; l'une la première année sur la parcelle sous abri et l'année suivante sur la parcelle plein champ. Il s'agira de communiquer sur la méthodologie de l'expérimentation et la présentation des outils d'aide à la décision utilisés.

Des documents de vulgarisation sur le pilotage de la fertirrigation et les outils de pilotage seront également réalisés. L'Ardepi participera à leur diffusion sur son site internet et lors des interventions en formation auprès des producteurs.

**AC - 2** Gestion administrative

### **E - Résultats attendus**

Les résultats attendus du projet sont :

1. Un système innovant et performant de mesure de l'humidité pour la maîtrise des irrigations en plein champ et sous abri.
2. Identifier la diffusion de l'eau dans le sol et la migration des éléments fertilisants
3. Un ensemble d'outils simples et fiables pour le pilotage de la fertilisation organique des cultures de plein champ (modèle carotte) et des cultures fertirriguées sous abri (modèle tomate/aubergine).

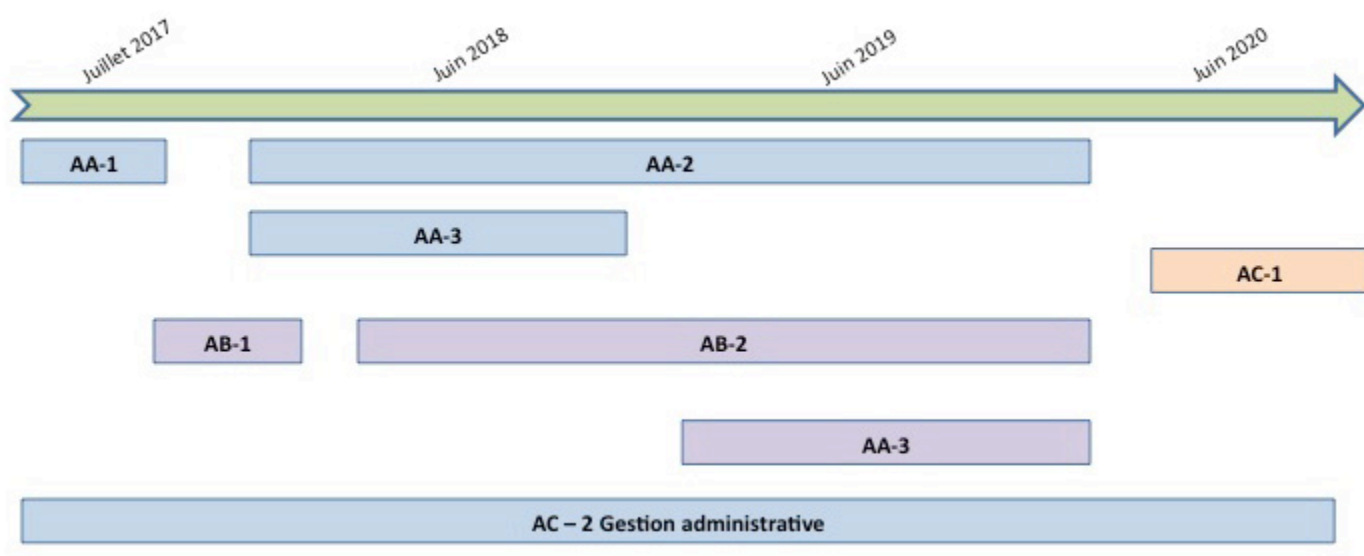
La partie de l'expérimentation menée par l'Ardepi apportera les éléments nécessaires à l'évaluation de l'impact environnemental du projet



## Temps de travail par action

Actions		2017		2018		2019		2020	
		I. Boyer	B. Laroche	IB	BL	IB	BL	IB	BL
AA - 1	Expertise hydraulique sous abri	3							
AA - 2	Expertise irrigation sous abri			15		15		2	
AB - 1	Expertise hydraulique plein champ	3							
AB - 2	Expertise irrigation plein champ			15		15		2	
AA - 3	Expertise outils de pilotage			18				3	
AB - 3	Expertise outils de pilotage					18		3	
AC - 1	Restitution et coordination avec APREL	2		2		2		2	3
AC - 2	gestion administrative		1		1		1		4
	Total	8	1	50	1	50	1	12	7

## Planning des actions



Durée du projet 36 mois ( juillet 2017 à juin 2020)

Coût du projet 51 545 €

Financement AERMC 41 236 €

Autofinancement 10 309 €