

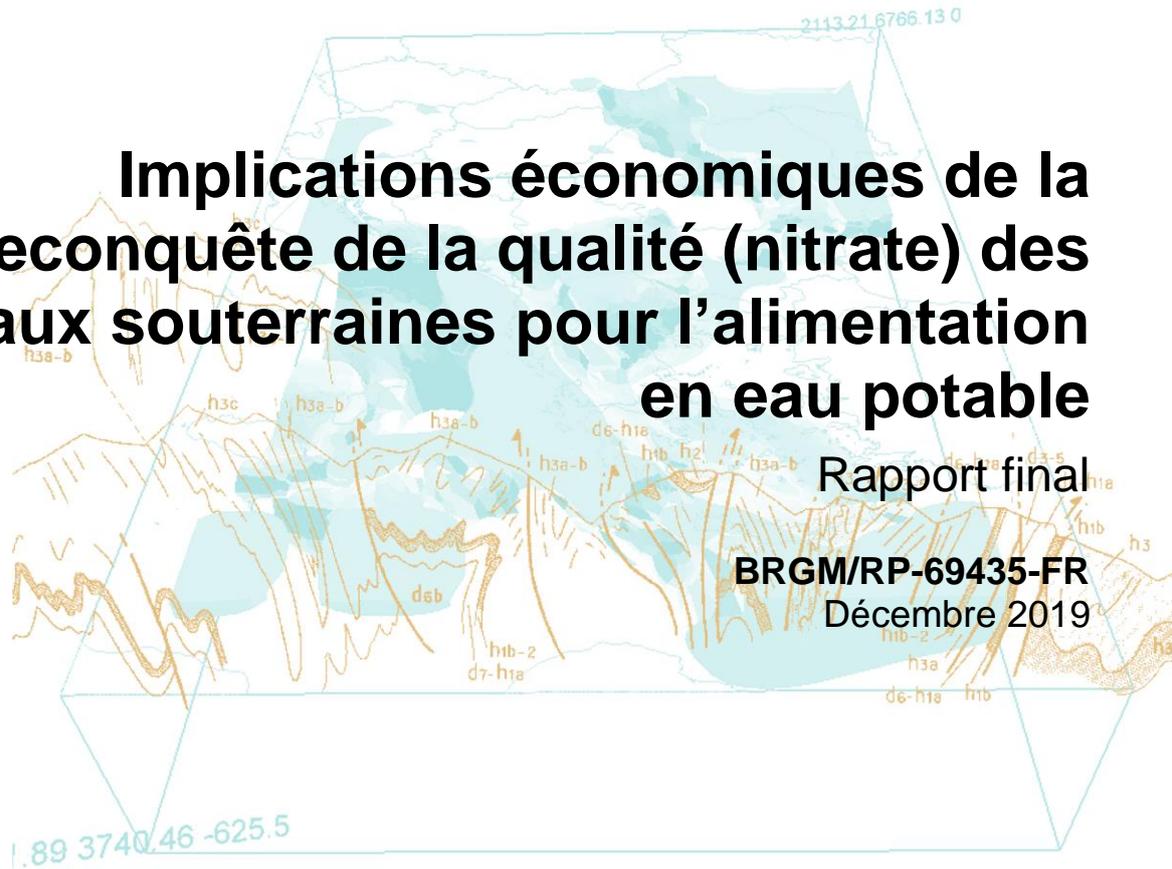


# Implications économiques de la reconquête de la qualité (nitrate) des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable

Rapport final

BRGM/RP-69435-FR

Décembre 2019





# Implications économiques de la reconquête de la qualité (nitrate) des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable

Rapport final

**BRGM/RP-69435-FR**

Décembre 2019

Étude réalisée dans le cadre du projet de recherche POLDIF RS15CEN020  
co-financé par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et le BRGM

**C. Hérivaux, N. Neverre, M. Grémont, N. Surdyk**

**Vérificateur :**

Nom : BARAN Nicole

Fonction : hydrogéologue

Date : 16 décembre 2019

Signature :



**Approbateur :**

Nom : SAADA Alain

Fonction Directeur Régional Centre-Val de Loire

Date :

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)

# Remerciements

La réalisation de ce travail s'est appuyée sur de nombreux entretiens et échanges avec différents partenaires. Nous remercions chaleureusement l'ensemble des personnes ayant participé à cette démarche, tant pour la collecte des données nécessaires à l'évaluation, que pour leur participation aux ateliers de mise en débat des résultats.

**Mots-clés** : Évaluation économique ; Analyse coût-efficacité ; Bénéfices économiques ; Nitrates ; Eaux souterraine ; Alimentation en eau potable

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Hérivaux C., Neverre N., Grémont M., Surdyk N.** (2019) - Implications économiques de la reconquête de la qualité (nitrate) des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable. Rapport final. BRGM/RP-69435-FR., 119 p. 50 fig., 36 tab., 2 ann.

## Synthèse

Ce rapport présente de manière détaillée les résultats de travaux d'évaluation économique menés dans le cadre du projet de recherche POLDIF co-financé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et le BRGM<sup>1</sup>. L'objectif général est de développer et tester des outils susceptibles d'éclairer les gestionnaires des territoires dont la ressource en eau est dégradée par les nitrates et utilisée pour l'alimentation en eau potable (AEP) sur les implications économiques passées et futures des différents choix possibles de reconquête de la qualité de la ressource en eau.

Deux territoires ayant déjà fait l'objet de mesures de reconquête de la qualité de l'eau et ayant déjà fait l'objet d'une modélisation de la qualité des eaux souterraines vis-à-vis du paramètre nitrate (Baran *et al.*, 2011) sont étudiés. Ils sont situés sur le bassin Loire-Bretagne et utilisent pour l'AEP des ressources en eau souterraine dont la qualité est dégradée par les nitrates :

- le territoire de Plourhan situé dans le département des Côtes-d'Armor (22), où les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines avoisinent les 60 mg/L. Les prélèvements annuels sont de l'ordre de 86 000 m<sup>3</sup>/an et le territoire étudié s'étend sur 101 ha ;
- la zone de protection de l'aire d'alimentation de captage de Pentvert, dans le département de la Sarthe (72), où les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines sont supérieures à 80 mg/L. Le territoire de Pentvert s'étend sur 2 700 ha, et les volumes prélevés sont de l'ordre de 1 Mm<sup>3</sup>/an.

La démarche proposée s'articule autour de trois principaux volets :

- volet 1 : analyse historique des actions mises en œuvre. Ce volet vise à comprendre les trajectoires passées d'évolution des territoires (évolution des concentrations en nitrates, des volumes prélevés, des actions mises en œuvre, etc.) et à évaluer leurs implications économiques ;
- volet 2 : évaluation des coûts des scénarios d'action futurs. Ce volet vise à construire et évaluer des scénarios d'action de reconquête de la qualité de l'eau en termes de coût et d'efficacité. Il utilise un modèle global de transfert de nitrates (BICHE développé par le BRGM) afin d'identifier les actions permettant de reconquérir durablement le bon état de la nappe et évaluer le temps nécessaire pour rétablir le bon état vis-à-vis de ce paramètre ;
- volet 3 : évaluation des bénéfices environnementaux de la préservation. Cette étape mobilise une démarche d'évaluation des services écosystémiques considérant que mettre en place et maintenir un usage du sol compatible avec la reconquête de la qualité des eaux souterraines peut générer de multiples bénéfices pour les territoires qui s'apparentent à des mosaïques d'écosystèmes (forêts, prairies, zones cultivées) fournissant divers services aux populations (production d'eau potable, production de bois, stockage de carbone, rétention des crues, activités récréatives, etc.).

Les travaux menés sur le territoire de Plourhan font ressortir trois phases distinctes en termes de choix de protection du captage :

- une phase de *Laisser-faire* de plus de vingt ans (1968-1991), période pendant laquelle la qualité de l'eau se dégrade ;
- une phase de *Reconquête* de la qualité de l'eau de 34 ans (1992-2025), accompagnée de quelques actions curatives. Au départ relativement faibles (4 k€/an sur la période 1992-

---

<sup>1</sup> L'ensemble des résultats obtenus dans ce projet sont présentés par Baran *et al.* (2019)

2007), les coûts de la reconquête atteignent 54 k€/an en moyenne à partir de 2008, date à partir de laquelle les concentrations commencent à diminuer. D'après les simulations BICHE, le maintien des pratiques agricoles actuelles devrait permettre de reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage et de passer sous le seuil des 50 mg/L autour de 2025. Au total, les coûts associés à cette phase de reconquête sont estimés en moyenne à 26 k€/an (260 €/ha/an) sur une période de 34 ans, avec une grande variabilité des coûts dans le temps ;

- une phase de *Préservation*, à partir de 2026. Les écosystèmes présents dès 2015 sur le périmètre de protection du captage (PPC) permettent de favoriser l'existence d'une diversité de services écosystémiques sur le territoire de Plourhan. Sept d'entre eux ont été évalués monétairement. On estime les bénéfices associés à ces services (et donc à la préservation) entre 130 000 € et 160 000 €, soit entre 1 300 € et 1 600 € par hectare de PPC ou entre 1,5 et 1,9 €/m<sup>3</sup> d'eau prélevé. Les plus gros contributeurs sont les services d'approvisionnement, notamment la production agricole, qui représentent en moyenne environ 66 % de la valeur économique des services écosystémiques fournis par la zone, suivis des services de régulation (32 %) et des services récréatifs (2 %).

Les travaux menés sur le territoire de Pentvert montrent deux phases historiques distinctes en termes de choix de protection du captage :

- une phase de *Laisser-faire* sur la période 1980-1992, période pendant laquelle la qualité de l'eau se dégrade ;
- puis une phase de mise en œuvre d'actions curatives et de reconquête, initiée en 1993, pendant laquelle la concentration en nitrates continue d'augmenter, se stabilise puis diminue depuis 2004. Les coûts associés à cette phase de reconquête sont estimés à environ 400 k€/an en moyenne (dont 70 k€/an pour les actions de reconquête et 330 k€/an pour les actions curatives), soit 150 €/ha/an.

La simulation BICHE des actions de reconquête actuelles montre que celles-ci ne suffiront pas à reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage de Pentvert à une échelle de temps acceptable. Face à ce constat, une démarche de co-construction de scénarios d'action de reconquête de la qualité de l'eau a été mise en œuvre avec une douzaine d'acteurs impliqués sur le territoire. Ces scénarios ont ensuite été évalués en termes de coût et d'efficacité. Le scénario qui consiste à introduire 40 % de luzerne dans la SAU est celui qui présente le meilleur ratio coût-efficacité, et devrait permettre de reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage à partir de 2043, pour ensuite laisser place à une phase de préservation. Son coût est estimé entre 33 et 81 k€/an selon les modalités de mise en œuvre du scénario. Au total, la phase de reconquête devrait donc durer *a minima* une cinquantaine d'années, avec des coûts estimés à 400 k€/an en moyenne (150 €/ha/an), dont plus de 80 % associés aux actions curatives.

Dans ces deux situations, l'évaluation économique couplée à des simulations à l'aide du modèle global BICHE a permis de mettre en évidence la « dette écologique » liée au choix du *Laisser-faire* pendant une période de temps plus ou moins longue. Cette dette s'est progressivement réduite par la mise en œuvre d'actions curatives et de reconquête de la qualité de l'eau coûteuses pour la collectivité dès le début des années 1990 : sur Plourhan, cette dette a déjà généré des coûts de 19 k€/an en moyenne sur la période 1992-2015, et les coûts restant à payer pour effacer la dette sont estimés à 28 k€/an (0,33 €/m<sup>3</sup> prélevé) en moyenne pendant 10 ans (sur la période 2016-2025) ; sur Pentvert, la dette écologique a déjà généré des coûts de 400 k€/an en moyenne et les coûts restant à payer pour l'effacer sont estimés entre 366 et 414 k€/an (entre 0,35 et 0,39 €/m<sup>3</sup> prélevé) en moyenne pendant 26 ans (sur la période 2018-2043). L'évaluation menée sur Plourhan souligne également que la reconquête durable de la qualité des eaux souterraines peut favoriser toute une diversité de services écosystémiques, en plus du bénéfice pour l'usage eau potable.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>13</b>
1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	13
1.2. TERRITOIRES D'ÉTUDE.....	15
1.3. VUE D'ENSEMBLE DE LA DÉMARCHE .....	16
<b>2. Le périmètre de protection du captage de la Ville Hélios (Plourhan) .....</b>	<b>17</b>
2.1. DESCRIPTION DU TERRITOIRE D'ÉTUDE.....	17
2.2. VUE D'ENSEMBLE DE LA DÉMARCHE .....	19
2.3. HISTORIQUE DES ACTIONS MISES EN ŒUVRE SUR LE TERRITOIRE DE PLOURHAN .....	19
2.3.1. Vue d'ensemble des actions .....	19
2.3.2. Les actions de reconquête .....	21
2.3.3. Les actions curatives .....	29
2.3.4. Synthèse.....	31
2.4. ÉVALUATION DES COÛTS FUTURS ASSOCIÉS À LA RECONQUÊTE DE LA QUALITÉ DE L'EAU.....	32
2.5. ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES RENDUS PAR LE PÉRIMÈTRE DE PROTECTION DU CAPTAGE DE LA VILLE HÉLIIOS.....	34
2.5.1. Production de bois .....	34
2.5.2. Production agricole .....	35
2.5.3. Stockage et séquestration du carbone.....	37
2.5.4. Régulation du cycle de l'eau .....	42
2.5.5. Réduction des algues vertes.....	46
2.5.6. Chasse .....	49
2.5.7. Cyclisme .....	50
2.5.8. Autres services non évalués .....	51
2.5.9. Synthèse des bénéfiques.....	51
2.6. SYNTHÈSE .....	53
<b>3. Territoire de Pentvert .....</b>	<b>55</b>
3.1. DESCRIPTION DU TERRITOIRE D'ÉTUDE.....	55
3.2. VUE D'ENSEMBLE DE LA DÉMARCHE .....	57
3.3. HISTORIQUE DES ACTIONS MISES EN ŒUVRE SUR LE TERRITOIRE DE PENTVERT.....	59
3.3.1. Vue d'ensemble des actions .....	59
3.3.2. Les actions de reconquête .....	60

3.3.3. Les actions curatives .....	62
3.3.4. Synthèse.....	63
3.4. CO-CONSTRUCTION DE SCÉNARIOS D'ACTION DE RECONQUÊTE DE LA QUALITÉ DE L'EAU.....	65
3.4.1. Démarche .....	65
3.4.2. Scénarios retenus .....	66
3.5. ÉVALUATION DES SCÉNARIOS D'ACTION.....	67
3.5.1. Démarche .....	67
3.5.2. Résultats.....	74
3.5.3. Evaluation de scénarios exploratoires complémentaires.....	84
3.5.4. Implications d'un Changement potentiel de zonage AAC.....	88
3.6. SYNTHÈSE .....	91
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>95</b>
<b>5. Bibliographie .....</b>	<b>97</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Exemple de représentation de différentes trajectoires de gestion de ressources en eau utilisées pour l'alimentation en eau potable (a) ; Tableau de synthèse présentant les types de coûts et les bénéfices de trois trajectoires contrastées (b). .....	14
Figure 2 : Localisation géographique du captage de la Ville Héliio.....	17
Figure 3 : Localisation géographique des périmètres de protection des captages de la Ville Héliio et Beaugouyen (Source : LOG HYDRO et ACDDUC, 2016).....	18
Figure 4 : Schéma simplifié de l'approvisionnement en eau potable des communes de Plourhan et Lantic. ....	18
Figure 5 : Historique des actions mises en œuvre sur le territoire de Plourhan, en lien avec la concentration en nitrates de l'eau du captage de la Ville Héliio. ....	20
Figure 6 : Localisation géographique des parcelles acquises en 2007 par le Syndicat des Eaux de Plourhan-Lantic. ....	26
Figure 7 : Occupation du sol sur le PPC en 1991 (source : CA22 et BRGM).....	27
Figure 8 : Occupation du sol sur le PPC en 2015 (source : CA22 et BRGM).....	27
Figure 9 : Montants versés sur le PPC au titre des mesures agro-environnementales sur la période 1991-2015. ....	29
Figure 10 : Évolution de la production d'eau potable à Ville Sault et Beaugouyen (2009-2015).....	30
Figure 11 : Estimation des coûts annuels de mise en œuvre des actions de reconquête de la qualité de l'eau mises en œuvre depuis 1991 sur le captage de la Ville Héliio (en €/an). ....	31
Figure 12 : Actions passées et potentielles futures mises en œuvre sur Plourhan, en lien avec la concentration en nitrates de l'eau du captage de la Ville Héliio. ....	33
Figure 13 : Répartition de la SAU sur le PPC, par type d'assolement en 2015 (source : BRGM, CA22). ....	35
Figure 14 : Répartition de la SAU sur le PPC, par exploitant en 2015 (source : BRGM, CA22). ....	35

Figure 15 : Réseaux d'interconnexion du SDAEP dans les Côtes-d'Armor.....	43
Figure 16 : Synoptique du réseau d'alimentation en eau potable du syndicat de Plourhan-Lantic. Nota : L'activité transport d'eau du Syndicat Mixte de la Côte du Goëlo (SMCG) a été reprise en 2008 par le SDAEP. ....	44
Figure 17 : Évolution du volume d'algues vertes ramassé sur les côtes de Binic et d'Étables-sur-Mer entre 1997 et 2016 (source : CEVA sur la base des déclarations des communes). ....	47
Figure 18 : Évolution des surfaces d'algues vertes échouées sur les côtes de Binic et d'Étables-sur-Mer entre 2002 et 2017 (source : CEVA sur la base de photo- interprétations). ....	47
Figure 19 : Évolution de la valeur économique par service écosystémique entre 1991 et 2015. ....	53
Figure 20 : Délimitation de la ZPAAC de Pentvert (en rouge). ....	55
Figure 21 : Ilots agricoles présents sur la ZPAAC de Pentvert (d'après le RPG 2016). ....	56
Figure 22 : Distribution du nombre d'exploitations selon leur emprise sur la ZPAAC. ....	56
Figure 23 : Assolement 2016 du territoire de Pentvert (d'après le RPG 2016). ....	57
Figure 24 : Vue d'ensemble de la démarche. ....	58
Figure 25 : Historique des actions mises en œuvre sur Pentvert, en lien avec la concentration en nitrate de l'eau du captage. ....	59
Figure 26 : Syndicats de production et de distribution de l'eau du captage de Penvert. ....	62
Figure 27 : Estimation des coûts annuels de mise en œuvre des actions curatives et de reconquête de la qualité de l'eau sur la période 1980-2017. ....	63
Figure 28 : Simulation de la concentration en nitrates future en cas de maintien des pratiques actuelles. ....	65
Figure 29 : Évolution de la part des différentes rotations dans la SAU (en %) pour les scénarios « tournesol » et « chanvre ». ....	69
Figure 30 : Évolution de la part des différentes rotations dans la SAU (en %) pour le scénario « luzerne ». ....	69
Figure 31 : Modèle BICHE : principe du fonctionnement du transfert de masse (d'après Thiéry, 1990). .....	73
Figure 32 : Comparaison des simulations du scénario « couvert court » et du scénario de référence « pratiques actuelles ». ....	74
Figure 33 : Comparaison des simulations du scénario « 4 apports » et du scénario de référence « pratiques actuelles ». ....	75
Figure 34 : Comparaison des simulations du scénario « tournesol » et du scénario de référence « pratiques actuelles ». ....	76
Figure 35 : Comparaison des simulations du scénario « chanvre » et du scénario de référence « pratiques actuelles ». ....	77
Figure 36 : Comparaison des simulations du scénario « 4 apports » et du scénario de référence « pratiques actuelles ». ....	79
Figure 37 : Coût-efficacité des cinq scénarios d'action. ....	82
Figure 38 : Variation de marge semi-nette par hectare concerné par le scénario d'action, pour les différents scénarios. Le scénario « luzerne » a trois composantes, étant donné que trois types de rotations sont allongées. ....	82
Figure 39 : Variation de marge semi-nette totale annuelle sur l'ensemble du territoire, pour les différents scénarios. ....	83
Figure 40 : Variation de marge semi-nette par hectare concerné par le scénario d'action, en fonction du contexte de prix (prix hauts, prix bas). Le scénario « luzerne » a trois composantes, étant donné que trois types de rotations sont allongées. ....	84

Figure 41 : Comparaison des simulations du scénario « tout en herbe » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».	85
Figure 42 : Comparaison des simulations du scénario « tournesol x2 » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».	85
Figure 43 : Comparaison des simulations du scénario « chanvre x2c et du scénario de référence « pratiques actuelles ».	86
Figure 44 : Comparaison des simulations du scénario « luzerne x2 » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».	86
Figure 45 : Évolution de la part des différentes rotations dans la SAU (en %) pour le scénario « luzerne x2 ».	87
Figure 46 : Coût-efficacité des cinq scénarios d'action initiaux et des deux scénarios exploratoires efficaces.	88
Figure 47 : Délimitation de la ZPAAC 2008 (en rouge) et de l'AAC 2018 (en bleu).	89
Figure 48 : Assolement de la ZPAAC 2008 et de l'AAC 2018 (données du RPG 2016).	90
Figure 49 : Coût-efficacité des cinq scénarios d'action initiaux et des deux scénarios exploratoires efficaces (● ZPAAC 2008 ; ○ AAC 2018).	91
Figure 50 : Actions passées et potentielles futures mises en œuvre sur Pentvert, en lien avec la concentration en nitrates de l'eau du captage.	92

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des surfaces sur le PPC de la Ville Héliio en 1991.	21
Tableau 2 : Répartition des surfaces sur le PPC de la Ville Héliio en 2015.	22
Tableau 3 : Principales prescriptions sur le périmètre de protection du captage de la Ville Héliio délimité en 1991 (source : DUP du 17/05/1991 et CA22, 1996).	23
Tableau 4 : Principales prescriptions sur le périmètre de protection du captage de la Ville Héliio délimité en 2010 (source : DUP du 06/12/2010 et CA22, 2014).	24
Tableau 5 : Montant des aides à l'agriculture biologique sur le PPC.	28
Tableau 6 : Synthèse des coûts associés aux actions mises en œuvre sur le territoire de Plourhan sur la période 1968-2015.	32
Tableau 7 : Synthèse des coûts associés aux actions mises en œuvre sur le territoire de Plourhan sur la période 1968-2015 et estimation des coûts futurs.	33
Tableau 8 : Valeur économique de la production annuelle de bois par usage.	35
Tableau 9 : Valeur économique associée à la production agricole.	36
Tableau 10 : Stockage de carbone de long-terme par les forêts du PPC.	38
Tableau 11 : Stockage de carbone de long-terme par les prairies permanentes.	39
Tableau 12 : Fixation annuelle de carbone par les forêts.	39
Tableau 13 : Fixation annuelle de carbone par les prairies.	40
Tableau 14 : Quantité de carbone stockée et séquestrée annuellement.	40
Tableau 15 : Évaluation économique des bénéfices associés au stockage de long-terme et à la fixation annuelle du carbone sur le PPC.	41
Tableau 16 : Évaluation économique des bénéfices associés au service de régulation du cycle de l'eau.	45

Tableau 17 : Exemples de la comparaison des prescriptions de la charte de territoire à basses fuites d'azote dans la baie de Saint-Brieuc et des contraintes associées au PPC de la Ville Héliio. ....	48
Tableau 18 : Évaluation économique du bénéfice économique associé à la réduction des algues vertes sur le littoral. ....	49
Tableau 19 : Synthèse des bénéfices économiques associés à la chasse. ....	50
Tableau 20 : Bénéfices marchands associés à la pratique du VTT sur le PPC. ....	51
Tableau 21 : Synthèse de la valeur économique des bénéfices fournis par sept services écosystémiques fournis par le PPC de la Ville Héliio. ....	52
Tableau 22 : Synthèse des coûts associés aux actions mises en œuvre sur le territoire de Penvert pour la période 1980-2017. ....	64
Tableau 23 : Évolution des surfaces des autres cultures, scénarios « tournesol » et « chanvre ». ....	69
Tableau 24 : Évolution des surfaces des autres cultures (scénario « luzerne »). ....	70
Tableau 25 : Marge semi-nette moyenne (rendement moyen, prix moyen) des différentes cultures. ...	71
Tableau 26 : Marges semi-nettes des différentes cultures en contextes de prix hauts et de prix bas. ...	71
Tableau 27 : Bilan économique du scénario « tournesol ». ....	77
Tableau 28 : Bilan économique du scénario « chanvre ». ....	78
Tableau 29 : Bilan économique du scénario « luzerne ». ....	80
Tableau 30 : Efficacité, coût et coût-efficacité des cinq scénarios d'action, ordonnés par efficacité décroissante. ....	81
Tableau 31 : Bilan économique du scénario « luzerne x2 ». ....	87
Tableau 32 : Efficacité, coût et coût-efficacité des scénarios exploratoires, ordonnés par efficacité décroissante. ....	88
Tableau 33 : Comparaison de la ZPAAC 2008 et de l'AAC 2018. ....	89
Tableau 34 : Coût total annuel selon le zonage considéré. ....	90
Tableau 35 : Coût-efficacité moyen sur la période 2018-2050 selon le zonage considéré. ....	90
Tableau 36 : Synthèse des coûts associés aux actions mises en œuvre sur le territoire de Penvert sur la période 1980-2050. ....	93

## Liste des annexes

Annexe 1 Fiches Action synthétisant les résultats du groupe de travail, complétés par « Le point de vue du modélisateur » - site de Penvert. ....	101
Annexe 2 Données technico-économiques validées utilisées pour l'évaluation des scénarios d'action de reconquête de la qualité de l'eau sur le territoire de Penvert. ....	111



## Liste des abréviations

AAC	Aire d'alimentation de captage
AELB	Agence de l'Eau Loire-Bretagne
AEP	Alimentation en eau potable
ARS	Agence Régionale de la Santé
CA	Chambre d'agriculture
CAD	Contrat d'Agriculture Durable
CCSG	Communauté de Communes du Sud Goëlo
CD	Conseil Départemental
CEVA	Centre d'Études et de Valorisation des Algues
CG	Conseil Général
CIPAN	Culture Intermédiaire Piège à Nitrates
CMA	Coût Moyen Annuel
CRPF	Centre Régional de la Propriété Forestière
CSHPF	Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France
CTE	Contrat Territorial d'Exploitation
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DDT	Direction Départementale des Territoires
DUP	Déclaration d'Utilité Publique
EBE	Excédent Brut d'Exploitation
Ha	hectare
IC	Intercultures
MAE	Mesures Agro-Environnementales
MAER	Mesure Agro-environnementale Rotationnelle
OTEX	Orientation Technico-économique des Exploitations
PDRH	Plan de Développement Rural Hexagonal
PPC	Périmètre de Protection de Captage
PPE	Périmètre de Protection Éloigné
PPI	Périmètre de Protection Immédiat
PPR	Périmètre de Protection Rapproché
RICA	Réseau d'Information Comptable Agricole
RPG	Recensement Parcelaire Graphique
SAFER	Société d'Aménagement Foncier et d'Établissement Rural
SAU	Surface Agricole Utile
SBAA	Saint-Brieuc Armor Agglomération
SDAEP22	Syndicat Départemental d'Alimentation en Eau Potable des Côtes d'Armor
SE	Service Écosystémique

SEPL	Syndicat des Eaux de Plourhan-Lantic
SIDPEP	Syndicat Interdépartemental de Distribution et de Production d'Eau Potable
SIE	Surface d'Intérêt Écologique
SMPEP	Syndicat Mixte de Production d'Eau Potable du Nord Sarthe
tC	tonne de carbone
teqCO <sub>2</sub>	tonne équivalent CO <sub>2</sub>
ZPAAC	Zone de Protection de l'Aire d'Alimentation de Captage

# 1. Introduction

## 1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Ce document présente les résultats de travaux d'évaluation économique menés dans le cadre du projet de recherche POLDIF co-financé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et le BRGM<sup>2</sup>. L'objectif général est d'éclairer les gestionnaires des territoires dont la ressource en eau est dégradée par les nitrates et utilisée pour l'alimentation en eau potable (AEP) sur les implications économiques passées et futures des différents choix possibles de reconquête de la qualité de la ressource en eau.

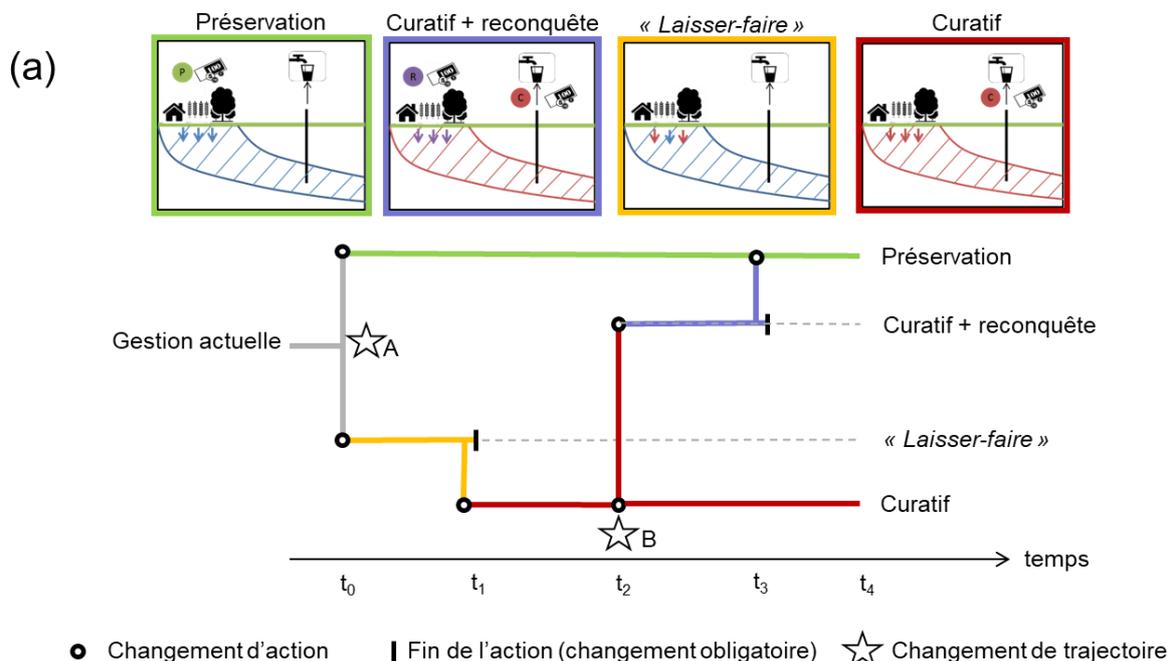
L'évaluation menée dans ce document suit le cadre général d'analyse décrit par Hérivaux et Grémont (2017), qui proposent une analyse de trajectoires d'évolution contrastées des territoires, considérant les coûts de la reconquête de la qualité et des actions curatives sur le long terme, ainsi que la diversité des bénéfices environnementaux associés à la protection. Nous en rappelons ci-dessous les principaux éléments.

La Figure 1 (a) représente de manière schématique trois trajectoires d'évolution contrastées d'un territoire disposant de ressources en eau souterraine de bonne qualité, et utilisées pour l'AEP. À  $t_0$ , les gestionnaires sont amenés à faire un choix concernant la protection de la qualité de la ressource en eau :

- le choix de la « *Préservation* » consiste à maintenir en surface une occupation du sol et des pratiques compatibles avec une bonne qualité de l'eau. Sa mise en œuvre dès  $t_0$  (trajectoire n° 1) implique des coûts de préservation « P » qui peuvent être évalués comme des coûts d'opportunité pour les territoires à préserver puisqu'elle peut contraindre les acteurs locaux à renoncer aux revenus potentiels que pourraient générer les projets d'aménagement concurrents (urbanisation, zones d'activité économique, etc.). Sur le long terme, la ressource reste de bonne qualité et les actions de préservation peuvent générer des co-bénéfices pour le territoire (attractivité touristique, amélioration du bien-être des habitants, préservation de la biodiversité, etc.) ;
- à l'inverse, le choix du « *Laisser-faire* » (par exemple : maintenir en place ou laisser s'implanter des activités potentiellement polluantes) entraîne un risque de dégradation de la qualité de la ressource en eau à partir de  $t_1$ . Dans ce cas, les services d'eau potable sont contraints de mettre en œuvre des actions « curatives » pour garantir aux consommateurs un approvisionnement en eau respectant les normes de qualité, pour un coût « C ». Rester sur cette trajectoire sur le long terme est aujourd'hui incompatible avec la Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE) qui impose l'atteinte du bon état chimique en 2027 sur toutes les masses d'eau et requiert la mise en place d'actions de reconquête, et donc le passage de la trajectoire n° 2 à la trajectoire n° 3. Elle est cependant présentée ici à titre illustratif, car elle est représentative de trajectoires historiquement observées sur de nombreux territoires ;
- une fois la ressource dégradée, la « *Reconquête* » de la qualité doit être mise en œuvre (trajectoire n° 3). Elle consiste à modifier l'occupation du sol et/ou les pratiques de manière à les rendre compatibles avec une bonne qualité de l'eau. La *Reconquête* génère un surcoût « R » lié aux changements d'occupation du sol et/ou de pratiques. Le territoire supporte alors à la fois des coûts de *Reconquête* (R), et les coûts du recours au « *Curatif* » (C) qui doit rester en place, jusqu'à ce que la qualité de la ressource soit rétablie. Selon l'efficacité des actions de reconquête mises en œuvre et le temps de réponse de l'aquifère,

<sup>2</sup> L'ensemble des résultats obtenus dans ce projet sont présentés par Baran *et al.* (2019). Les informations détaillées sur la modélisation et son principe sont décrites par Surdyk *et al.* (2019).

cette trajectoire vise à reconquérir durablement la qualité des eaux souterraines, et basculer à terme vers des actions de préservation.



(b)

Trajectoire	Actions	Coûts Moyens Annuels				Bénéfices	
		t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>4</sub>	Bon état	Co-bénéfices environnementaux
1	—	P	P	P	P	Oui, dès t <sub>0</sub>	Oui, dès t <sub>0</sub>
2	— —	-	C	C	C	Non	Non
3	— — —	-	C	C+R	P	Oui, à partir de t <sub>3</sub>	Oui, à partir de t <sub>2</sub>

Figure 1 : Exemple de représentation de différentes trajectoires de gestion de ressources en eau utilisées pour l'alimentation en eau potable (a) ; Tableau de synthèse présentant les types de coûts et les bénéfices de trois trajectoires contrastées (b).

L'évaluation économique permet de mettre en évidence les implications économiques – sur le court, moyen et long terme – du choix d'une trajectoire plutôt qu'une autre, de manière à aider les décideurs locaux à comprendre et à communiquer l'intérêt pour leurs territoires de protéger les eaux souterraines :

- ★ A : *préserver plutôt que Laisser-faire ?* Sur le court-terme (jusqu'à t<sub>1</sub>), il peut être plus intéressant d'un point de vue économique de Laisser-faire plutôt que de Préserver qui implique un coût annuel P. À plus long terme cependant, en cas de dégradation de la qualité de la ressource en eau, le basculement obligatoire vers le Curatif et la Reconquête (trajectoire n° 3) implique des coûts annuels C et R tandis que la *Préservation* garantit un maintien du bon état de la ressource et des co-bénéfices environnementaux dès t<sub>0</sub>. L'évaluation économique peut ici mettre en évidence l'intérêt de préserver la ressource en montrant que cela permet d'éviter les coûts du recours au Curatif et de la Reconquête potentiellement importants, et garantit le maintien de co-bénéfices environnementaux à l'échelle d'un territoire ;
- ★ B : *reconquérir la qualité d'une ressource dégradée.* Le passage de la trajectoire n° 2 à la trajectoire n° 3 implique des coûts annuels plus importants (C + R) pendant une période

de temps qui peut être longue ( $t_2-t_3$ ), selon le délai nécessaire à la mise en œuvre de la *Reconquête* et le temps de réponse de l'aquifère. La *Reconquête* peut cependant générer des co-bénéfices environnementaux dès  $t_2$ . Le choix du programme de *Reconquête* peut influencer le coût R, le délai entre  $t_2$  et  $t_3$ , mais également l'importance des co-bénéfices environnementaux. L'évaluation économique peut ici permettre de cibler les actions de reconquête permettant de réduire le délai nécessaire pour l'atteinte du bon état ( $t_2-t_3$ ), tout en minimisant les coûts du recours au *Curatif* et de la *Reconquête*, et en générant des bénéfices pour le territoire.

Les coûts (C+R) associés à la mise en œuvre des actions curatives et de reconquête peuvent être formalisés sous le concept de **dette écologique** (CGDD, 2015). La dette écologique reflète ici la valeur économique associée à la diminution des services dépendants des aquifères du fait de la dégradation de la qualité des eaux souterraines pendant une période de temps T. Nous la définissons dans ce rapport comme la somme des coûts de la reconquête et des dommages résiduels, pendant la période de temps où la qualité des eaux souterraines est dégradée.

$$\sum_T (\text{Coûts de la reconquête} + \text{dommages résiduels}) = \text{dette écologique}$$

Ces coûts sont très dépendants du contexte local, en particulier des caractéristiques hydrogéologiques. Bien souvent, les collectivités n'ont pas conscience de cette dette écologique. Le couplage d'approches économiques et hydrogéologiques, avec participation des acteurs locaux peut permettre d'éclairer les gestionnaires des territoires sur les implications économiques passées et futures de différents choix possibles de reconquête de la qualité des ressources en eau.

## 1.2. TERRITOIRES D'ÉTUDE

Le travail a consisté à appliquer ce cadre d'analyse à deux territoires situés sur le bassin Loire-Bretagne, présentant des contextes hydrogéologiques et des pressions agricoles contrastées, et utilisant pour l'AEP une ressource en eau souterraine dont la qualité est dégradée par les nitrates :

- le périmètre de protection du captage de la ville Héliou (aussi appelé dans ce document « territoire de Plourhan ») situé dans le département des Côtes d'Armor (22), exploité depuis 1968 pour l'AEP, et dont les concentrations en nitrates avoisinent les 60 mg/L. Les prélèvements annuels sont de l'ordre de 86 000 m<sup>3</sup>/an et le territoire étudié s'étend sur 101 ha ;
- la zone de protection de l'aire d'alimentation de captage de Pentvert, dans le département de la Sarthe (72), exploité depuis le début des années 1980, et dont les concentrations en nitrates sont supérieures à 80 mg/L. Le territoire de Pentvert s'étend sur 2 700 ha, et les volumes prélevés sont de l'ordre de 1 Mm<sup>3</sup>/an.

Des programmes d'action de reconquête ont déjà été engagés sur ces deux captages, ainsi que des travaux de modélisation de l'évolution des teneurs en nitrate des eaux souterraines (modèle global BICHE décrit par Surdyk *et al.* (2019).

### 1.3. VUE D'ENSEMBLE DE LA DÉMARCHE

La démarche proposée dans ce document s'articule autour de trois principaux volets.

**Volet 1 : analyse historique des actions mises en œuvre.** Ce volet vise à comprendre les trajectoires passées d'évolution des territoires (évolution des concentrations en nitrates, des volumes prélevés, des actions mises en œuvre, etc.) et à évaluer leurs implications économiques : évaluation des coûts des actions de reconquête et des actions curatives, sous la forme de coûts moyens annuels (coûts d'opération et de maintenance annuels + coûts d'investissement annualisé) sur une durée T différente selon les territoires. Il s'est appuyé sur la réalisation d'entretiens auprès d'acteurs clés des territoires et la revue de documents relatifs aux choix de gestion réalisés dans le passé. Ce volet historique a été étudié de manière similaire sur les deux territoires d'étude.

**Volet 2 : évaluation des coûts des scénarios d'action futurs.** Ce volet vise à construire et évaluer des scénarios d'action de reconquête de la qualité de l'eau en termes de coût et d'efficacité. Il utilise un modèle de transfert de nitrates (BICHE) afin d'identifier les actions permettant de reconquérir durablement le bon état de la nappe vis-à-vis du paramètre nitrate et évaluer le temps nécessaire pour rétablir le bon état vis-à-vis du paramètre nitrate. Ce volet a été mené de manière différenciée sur les deux territoires. En effet, les simulations BICHE ont montré dès le début de l'évaluation que les actions déjà mises en œuvre sur le territoire de Plourhan sont suffisantes pour reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage, contrairement au territoire de Pentvert, sur lequel ce volet a été découpé en deux étapes : (1) la co-construction de scénarios d'action et (2) l'évaluation de ces scénarios d'action.

**Volet 3 : évaluation des bénéfices environnementaux de la préservation.** Cette étape mobilise une démarche d'évaluation des services écosystémiques décrite par Hérivaux et Grémont (2019). Elle consiste à considérer que mettre en place et maintenir un usage du sol compatible avec la reconquête de la qualité des eaux souterraines peut favoriser l'existence de multiples bénéfices pour les territoires qui s'apparentent à des mosaïques d'écosystèmes (forêts, prairies, zones cultivées) fournissant divers services aux populations (production d'eau potable, production de bois, stockage de carbone, rétention des crues, activités récréatives, etc.). Ce raisonnement a la particularité de ne pas s'intéresser uniquement aux bénéfices de la protection des captages pour les usagers de l'eau, mais de considérer comme des co-bénéfices l'ensemble des services délivrés par les écosystèmes présents sur le territoire, et compatibles avec une amélioration de la qualité de la ressource prélevée. Ce volet a été développé uniquement sur le territoire de Plourhan, sur lequel les écosystèmes actuellement présents sont compatibles avec une bonne qualité de l'eau, contrairement au territoire de Pentvert.

Sauf mention contraire, toutes les valeurs présentées dans ce rapport sont exprimées en € pour l'année de référence 2015. Tous les coûts antérieurs sont exprimés en valeur de l'année de référence en utilisant l'indice annuel des prix à la consommation (IPC) en France, pour l'année de base 2015 (INSEE). Prenons l'exemple d'un coût survenu en 1993, pour une valeur V en €<sub>1993</sub>. Sa valeur en €<sub>2015</sub> correspond alors à :

$$V_{\text{€2015}} = V_{\text{€1993}} \frac{IPC_{2015}}{IPC_{1993}}$$

Les trois volets ont été plus ou moins développés selon les spécificités des territoires étudiés. Sur les deux territoires, un atelier final a été organisé auprès des acteurs locaux afin de présenter et mettre en débat les résultats de l'évaluation.

## 2. Le périmètre de protection du captage de la Ville Hélio (Plourhan)

### 2.1. DESCRIPTION DU TERRITOIRE D'ÉTUDE

Le captage de la Ville Hélio est situé dans le département des Côtes d'Armor (22), à l'ouest de la Baie de Saint-Brieuc, sur la commune de Plourhan. Exploité depuis 1968 pour l'alimentation en eau potable du Syndicat des eaux de Plourhan-Lantic, il est géré depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017 par Saint-Brieuc Armor Agglomération (SBAA) via un contrat d'affermage.

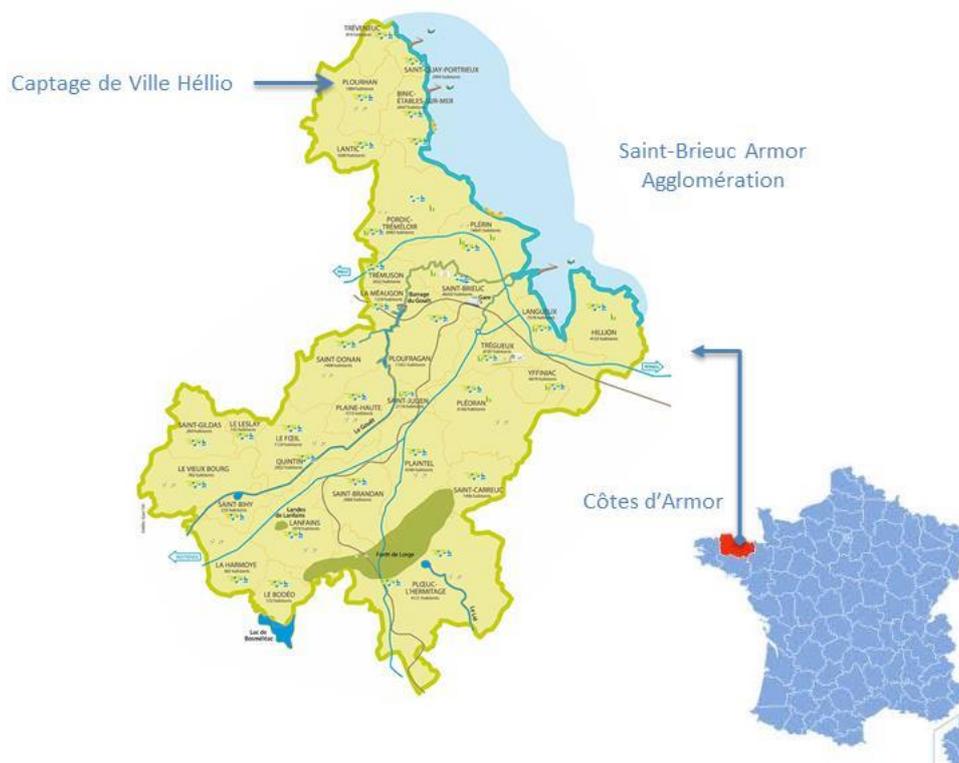


Figure 2 : Localisation géographique du captage de la Ville Hélio.

Le captage est constitué d'un puits de 4,4 mètres de profondeur qui prélève l'eau des arènes argileuses du Briovérien. En 2015, les prélèvements s'élèvent à 85 843 m<sup>3</sup>/an pour une autorisation de prélèvement pouvant atteindre 150 000 m<sup>3</sup>/an (DUP du 17 mai 1991). Situé en zone agricole, à deux kilomètres au nord-ouest du bourg de Plourhan, le captage est protégé depuis 1991 par un périmètre de protection (PPC). Depuis sa création, les concentrations en nitrate dans les eaux prélevées ont toutefois régulièrement augmenté, atteignant plus de 90 mg/L au milieu des années 2000. Le captage est ainsi classé prioritaire « Grenelle ».

Le captage de la Ville Hélio contribue à l'alimentation en eau potable des communes de Plourhan et Lantic (1 832 abonnés en 2015). L'eau prélevée est acheminée par une conduite gravitaire vers la station de traitement de Ville Sault située à 800 mètres au sud-est du point de prélèvement. Le débit maximum pouvant transiter dans la canalisation est d'environ 12-13 m<sup>3</sup>/h. Après son traitement, l'eau est transportée vers un réservoir de 300 m<sup>3</sup> pour y être mélangée avec de l'eau provenant du champ captant de Beaugouyen (Figure 4 et Figure 3). Également exploité pour l'alimentation en eau potable des communes de Plourhan et Lantic, ce champ captant est constitué de trois captages profonds (133 à 151 mètres) implantés dans les formations volcaniques et métamorphiques du massif de Lanvollon et dont le débit cumulé

autorisé est de 500 m<sup>3</sup>/j ou 145 000 m<sup>3</sup>/an. Deux de ces forages (FR6 et FR2) présentent toutefois depuis plusieurs années une baisse de capacité hydraulique liée au colmatage des crépines des pompes. En conséquence, le forage FR6 est actuellement inexploité tandis que le forage FR2 fonctionne à débits réduits. Pauvres en nitrates mais riches en fer (1,5 mg/L) et en manganèse (0,1-0,2 mg/L), les eaux prélevées à Beaugouyen nécessitent par ailleurs un traitement spécifique. Outre ce traitement spécifique, les stations de Ville Sault et de Beaugouyen sont constituées de la même filière de traitement (filière maërl marin remplacée en 2012 par une filière de calcaire terrestre et soude) qui ne permet pas l'abattement des teneurs en nitrate. Sur le captage de la Ville Héliio, la production est donc volontairement limitée par l'exploitant pour maintenir une dilution suffisante des nitrates grâce au mélange avec l'eau de Beaugouyen et compte tenu du débit de la canalisation d'amenée d'eau à ville Sault.

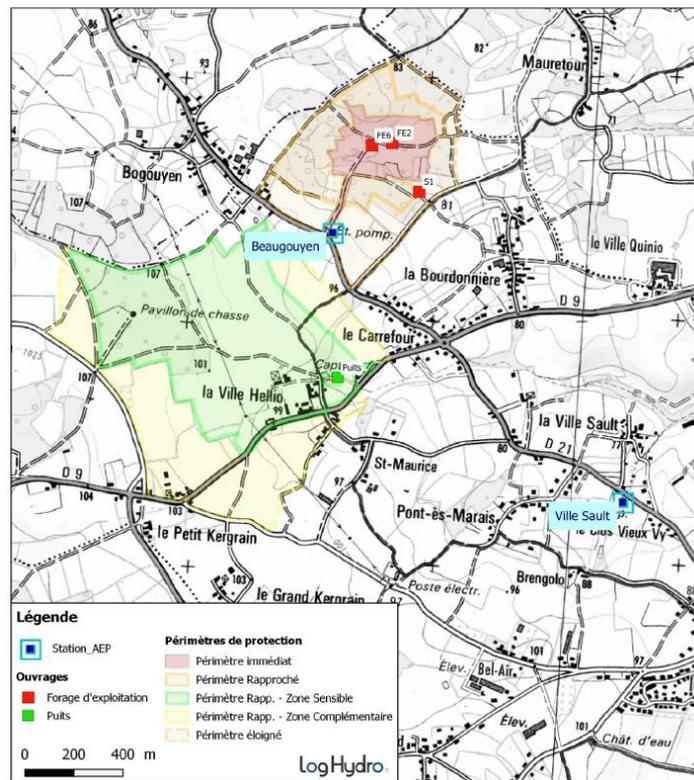


Figure 3 : Localisation géographique des périmètres de protection des captages de la Ville Héliio et Beaugouyen (Source : LOG HYDRO et ACDDUC, 2016).

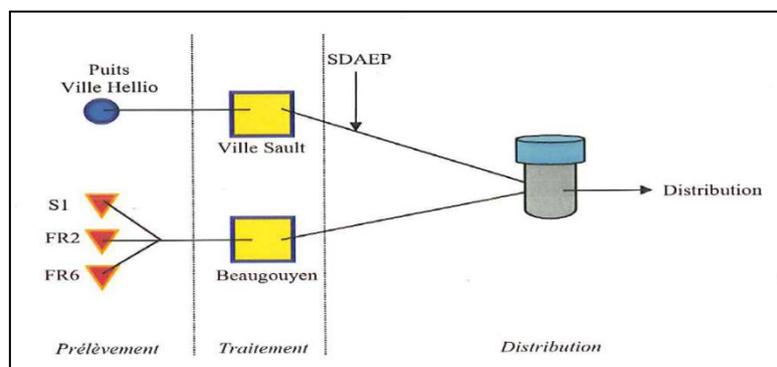


Figure 4 : Schéma simplifié de l'approvisionnement en eau potable des communes de Plourhan et Lantic.

En complément, le service d'eau achète de l'eau potable au Syndicat Départemental d'Alimentation en Eau Potable des Côtes-d'Armor (SDAEP22) dès lors que la production locale devient insuffisante (i.e. dès lors que le niveau du réservoir est inférieur à 3 mètres). En 2015, ces importations s'élevaient à 21 769 m<sup>3</sup>.

En conclusion, la collectivité est confrontée à une double problématique :

- un problème **qualitatif** sur le captage de la Ville Héllio dont les teneurs en nitrate des eaux brutes dépassent actuellement les seuils de potabilisation ce qui oblige l'exploitant à diluer l'eau prélevée à la Ville Héllio avec de l'eau provenant des forages de Beaugouyen ;
- un problème **quantitatif** sur les forages de Beaugouyen avec des volumes produits en baisse en raison du colmatage des forages.

## 2.2. VUE D'ENSEMBLE DE LA DÉMARCHE

La démarche est organisée selon les trois volets présentés au §0 :

Le volet 1 (§ 2.3) consiste à évaluer rétrospectivement le coût des actions de gestion mises en œuvre sur le PPC depuis 1991. Ces coûts sont évalués à partir d'informations chiffrées fournies par les parties prenantes (Syndicat des Eaux de Plourhan-Lantic, Chambre d'agriculture des Côtes-d'Armor, Conseil départemental, Agence de l'eau Loire-Bretagne, etc.). Pour certains postes de dépenses, la donnée primaire n'a cependant pas pu être collectée. Dans ce cas, des coûts moyens ont été estimés à partir de la littérature. La base de données des aides financières attribuées par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne dans le cadre de son 10<sup>e</sup> programme (2013-2018) a notamment été utilisée pour estimer le coût d'actions similaires mises en place récemment sur d'autres territoires du bassin Loire-Bretagne.

Le volet 2 (§ 0) consiste à évaluer les coûts futurs nécessaires pour reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage.

Le volet 3 (§ 2.5) identifie, caractérise et quantifie la valeur économique des bénéfices environnementaux générés par les écosystèmes présents sur le PPC de la Ville Héllio. Pour ce faire, une série d'entretiens a été réalisée auprès d'une douzaine d'acteurs locaux (élus, collectivités, chambre d'agriculture, centre régional de la propriété forestière, fédération départementale des chasseurs, centre d'étude et de valorisation des algues, etc.).

Les résultats de ces différentes étapes ont été présentés et mis en débat lors d'un atelier de restitution d'une demi-journée organisé en avril 2018 à Saint-Brieuc.

## 2.3. HISTORIQUE DES ACTIONS MISES EN ŒUVRE SUR LE TERRITOIRE DE PLOURHAN

### 2.3.1. Vue d'ensemble des actions

Depuis la création du captage de la Ville Héllio, de nombreuses actions volontaristes de reconquête de la qualité de l'eau ont été mises en œuvre par les acteurs locaux (acquisitions foncières, changement d'assolement et de pratiques agricoles, extension du PPC, etc.), afin de reconquérir la qualité de la ressource en eau. La Figure 3 positionne dans le temps les différentes actions mises en œuvre sur le territoire de Plourhan, en parallèle de l'évolution des concentrations en nitrates dans le captage depuis sa création. Trois principaux types d'actions ont été mises en œuvre :

- les actions de reconquête de la qualité de l'eau basées sur des instruments contractuels (en rouge) ;
- les actions de reconquête réglementaires (en mauve) ;

- et les actions curatives mises en œuvre par les services d'eau potable pour pouvoir continuer à distribuer une eau de bonne qualité (en bleu).

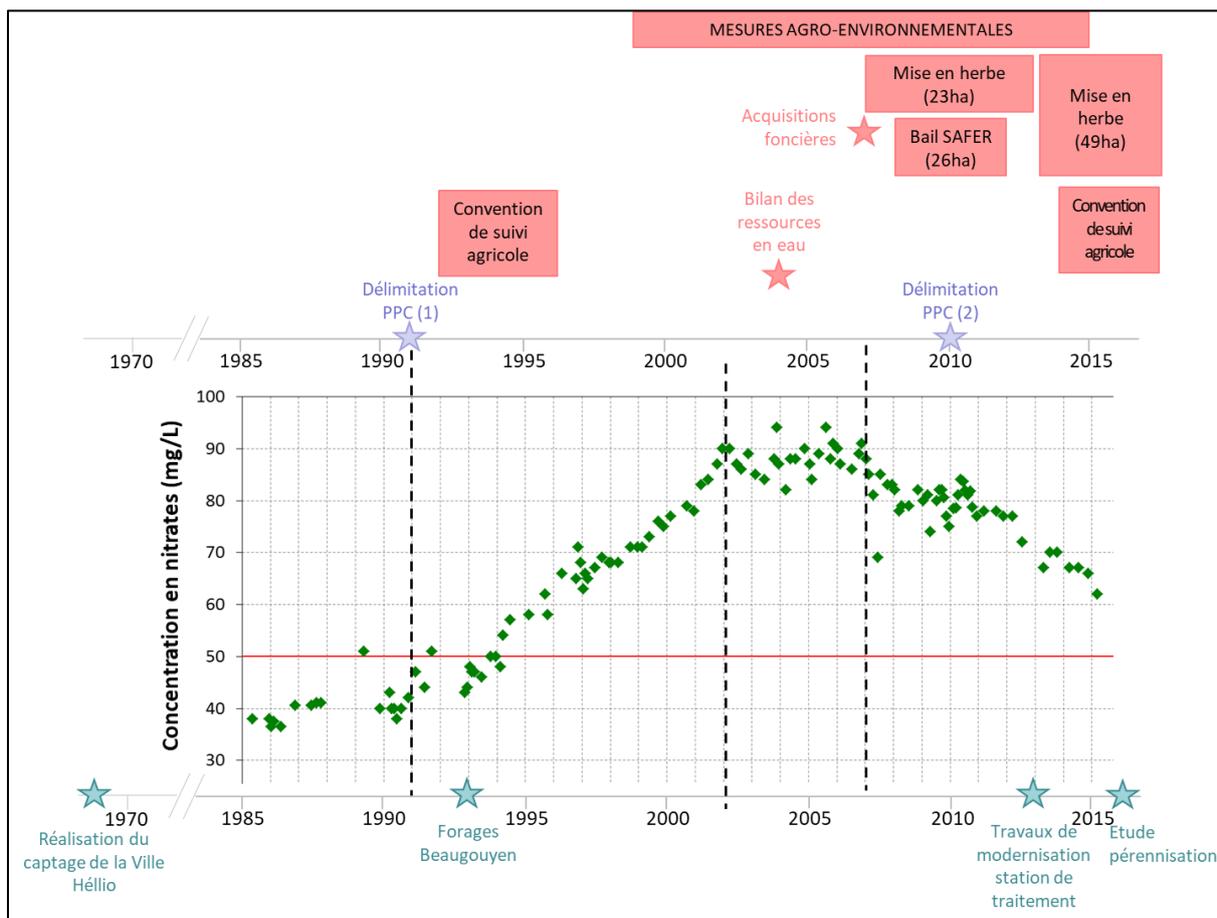


Figure 5 : Historique des actions mises en œuvre sur le territoire de Plourhan, en lien avec la concentration en nitrates de l'eau du captage de la Ville Hélios.

Cette représentation dans le temps permet de dégager quatre principales périodes :

- **de 1968 à 1991.** Lors de sa mise en service en 1968, le captage de la Ville Hélios prélève une eau brute de bonne qualité ;
- **de 1991 à 2002.** Depuis la création du PPC en 1991, les concentrations en nitrates ont augmenté de manière continue (40 mg/L en 1992 à 85 mg/L en 2002, soit une augmentation annuelle de près de 5 mg/L), malgré une convention de suivi agricole tri-partite signée en 1992 entre la Chambre d'agriculture des Côtes-d'Armor, le Département des Côtes-d'Armor et le Syndicat des Eaux de Plourhan-Lantic (SEPL), et un démarrage des Mesures Agro-Environnementales (MAE) en 1999. La réalisation des forages de Beaugouyen permet de diluer l'eau du captage de la Ville Hélios, sans avoir recours à une station de traitement ;
- **de 2002 à 2007.** Durant cette période, les teneurs en nitrates se stabilisent autour de 85 mg/L. Les valeurs maximales atteignent 94 mg/L en 2003 et 2005. En 2004, une étude sur l'état des ressources en eau recommande la révision du PPC ;
- **depuis 2007.** Plusieurs actions de reconquête sont mises en œuvre : acquisitions foncières, mise en herbe, révision du PPC, et nouvelle convention de suivi tri-partite. Les concentrations en nitrates dans le captage de la Ville Hélios tendent à baisser. Elles sont proches des 60 mg/L en 2015.

### 2.3.2. Les actions de reconquête

#### a) Les actions de reconquête de type réglementaire

Un **premier périmètre de protection (PPC)** d'une superficie de 64 ha est établi en 1991 (DUP du 17 mai 1991). Il est constitué d'un périmètre immédiat (PPI), un périmètre rapproché (PPR) composé d'une zone sensible de 11,5 ha et d'une zone complémentaire de 29,5 ha, et un périmètre éloigné (PPE) de 23 ha (Tableau 1). Les servitudes d'utilité publique associées au PPC sont inscrites aux hypothèques en 1997. Le Tableau 3 en présente les principales modalités. L'essentiel des contraintes porte alors sur la zone sensible du PPR où les cultures annuelles sont interdites ainsi que toute fertilisation.

Périmètres de Protection	Surface totale (ha)	SAU (ha)	Surface non agricole (ha)
Périmètre immédiat	0,3	0,0	0,3
Périmètre rapproché - Zone sensible	10,2	4,7	5,5
Périmètre rapproché - Zone complémentaire	30,3	16,8	13,5
Périmètre éloigné	23,0	16,5	6,5
<b>TOTAL PPC</b>	<b>63,8</b>	<b>38,0</b>	<b>25,8</b>

Tableau 1 : Répartition des surfaces sur le PPC de la Ville Héllio en 1991.

La procédure de délimitation du périmètre de protection de 1991 a généré divers coûts :

- le coût des études techniques préalables et les frais de procédures (inscription aux hypothèques, actes notariés, etc.) sont estimés à hauteur du coût moyen des études préalables et procédures DUP pour la mise en œuvre de PPC financés par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne sur la période 2013-2017, à savoir 24 400 € (base de données des aides financières de l'Agence de l'eau) ;
- le coût d'achat par le Syndicat des Eaux de Plourhan-Lantic (SEPL) des parcelles inscrites dans le PPI est estimé à 3 500 € en supposant que ces parcelles ont été acquises au coût moyen auquel les parcelles du PPC ont été acquises en 2008 (7 500 €/2008/ha) ;
- l'entretien régulier des parcelles du PPI est à la charge du délégataire (construction de la clôture et mise en herbe des parcelles). Son coût est considéré comme négligeable compte tenu de la faible surface à entretenir ;
- le coût associé à la contrainte de conservation de la vocation forestière des parcelles d'ores et déjà boisées du PPR est considéré comme nul, aucun usage alternatif de ces parcelles boisées n'ayant été identifié ;
- le coût lié à l'interdiction de toute création de nouveaux bâtiments est considéré comme nul car les parcelles du PPC ne présentent à l'époque aucun intérêt pour l'urbanisation ;
- les éventuels montants versés en 1991 au titre des indemnisations pour servitudes n'ont pas pu être collectés dans le cadre de ce projet. Si de telles indemnisations ont effectivement été versées, il est vraisemblable que les montants étaient relativement faibles au regard de l'importance des indemnisations versées lors de l'extension du périmètre en 2010 aux propriétaires et exploitants agricoles dont les surfaces étaient déjà incluses dans le PPC de 1991.

En 2010, conformément aux recommandations de la Chambre d'agriculture et de l'hydrogéologue agréé (Quété, 2008), le PPC du captage de la Ville Héllio est révisé et son périmètre est étendu. L'arrêté du 6 décembre 2010 définit un **nouveau périmètre de 101 ha** constitué d'une zone très sensible de 57 ha et d'une zone complémentaire de 44 ha. La SAU représente quant à elle 70 ha appartenant à 22 propriétaires et exploitée par 7 agriculteurs.

Des servitudes d'utilité publique sont alors mises en place. Sur la zone très sensible, les boisements et prairies permanentes sont dorénavant obligatoires tandis que sur la zone complémentaire, les cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) sont obligatoires, l'épandage de déjections avicoles est limité et l'usage des produits phytosanitaires strictement réglementé. Il est à noter que la phase de négociation des indemnités pour servitudes associées à ce nouveau PPC ne s'est achevée qu'en 2017.

Périmètres de Protection	Surface totale (ha)	SAU (ha)	Surface non agricole (ha)
Périmètre immédiat	0,3	0,0	0,3
Périmètre rapproché - Zone très sensible	56,7	29,4	27,3
Périmètre rapproché - Zone complémentaire	43,8	40,3	3,5
<b>TOTAL PPC</b>	<b>100,8</b>	<b>69,7</b>	<b>31,1</b>

Tableau 2 : Répartition des surfaces sur le PPC de la Ville Hélios en 2015.

En 2010, les coûts associés à l'extension du périmètre de protection sont les suivants :

- dossier administratif incluant la réalisation de l'état parcellaire, la notification d'ouverture d'enquête publique aux ayants droits, le traitement des questionnaires d'identité et modifications de l'état parcellaire à l'issue de l'enquête publique, la notification de l'arrêté portant déclaration d'utilité publique aux ayants droits, la réalisation des actes d'inscription des servitudes et la réalisation des conventions d'indemnités : 8 600 € ;
- étude hydrogéologique (y compris les piézomètres) : 71 100 € ;
- documents d'arpentage (géomètre) : 1 400 € ;
- indemnités versées aux propriétaires fonciers<sup>3</sup> : 31 500 € ;
- indemnités versées aux locataires : 15 300 €.

<sup>3</sup> En application des articles L.1321-2 et suivants du Code de la Santé Publique et L.211-3 du Code de l'environnement, la mise en place du périmètre oblige le syndicat à verser une indemnité aux propriétaires des parcelles pour lesquelles l'inscription dans le PPC entraîne une importante restriction aux usages des sols. L'indemnité versée au propriétaire correspond à la dépréciation de la valeur du bien générée par les interdictions et restrictions d'usage. La valeur de cette dépréciation dépend des contraintes prévues par la déclaration d'utilité publique, la dévalorisation étant d'autant plus importante que l'utilisation de la parcelle est réduite. Les locataires des parcelles sont également impactés par la mise en place du PCC, notamment les exploitants agricoles qui sont contraints de modifier leurs pratiques. Le syndicat doit également leur verser une indemnité correspondant à la perte de marge brute entraînée par les restrictions. Des protocoles définissant les cadres d'indemnisation à appliquer sont ainsi négociés à l'échelle de chaque département par les représentants des collectivités et de l'État et les représentants des professions agricoles.

<b>Contraintes</b>	<b>PPR Zone sensible</b>	<b>PPR Zone complémentaire</b>	<b>PPE</b>
<b>Type de culture</b>	Cultures annuelles interdites	Cultures annuelles autorisées	Cultures annuelles autorisées
<b>Fertilisation</b>	Interdite	Fertilisation d'origine animale et minérale ne devant pas dépasser 210 kg/ha/an à l'exclusion des zones légumières comportant plusieurs rotations dans l'année	
<b>Épandage des déjections animales solides et liquides et les effluents équivalents</b>	Interdite	Déjections animales solides : autorisées sur sols régulièrement cultivés Déjections animales liquides : interdit	Autorisé sur sols régulièrement cultivés
<b>Date d'épandage</b>	/	Selon calendrier départemental	Déjections animales solides : selon calendrier départemental Déjections animales liquides : avril à octobre
<b>Couverture des sols en hiver</b>	Végétation permanente obligatoire (bois, prairie)	Obligatoire	Pas d'obligation
<b>Affouragement des animaux à la pâture</b>	Affouragement temporaire autorisé d'avril à octobre si pas de dégradation du couvert végétal	Affouragement temporaire autorisé si pas de dégradation du couvert végétal	Affouragement temporaire autorisé si pas de dégradation du couvert végétal

*Tableau 3 : Principales prescriptions sur le périmètre de protection du captage de la Ville Héllio délimité en 1991 (source : DUP du 17/05/1991 et CA22, 1996).*

Contraintes	PPR Zone très sensible	PPR Zone complémentaire
<b>Utilisation des parcelles agricoles</b>	Végétation permanente obligatoire (bois, prairie)	Cultures annuelles autorisées avec maintien d'un couvert végétal en hiver, CIPAN obligatoire pour les cultures pérennes
<b>Travail du sol</b>	Retournement des parcelles en herbe interdit, renouvellement par des techniques alternatives préconisé	Autorisé dans des conditions non polluantes
<b>Fertilisation azotée</b>	Interdite	Limitée aux besoins des cultures, inférieure à 170 kgN/ha/an Épandage de déjections avicoles limitées à 80 uN/ha/an avec analyse des déjections
<b>Épandage des déchets et produits non agricoles</b>	Interdit	Interdit sauf déchets verts
<b>Affourage des animaux à la pâture</b>	Interdit en libre-service dans des silos non aménagés	

*Tableau 4 : Principales prescriptions sur le périmètre de protection du captage de la Ville Hélios délimité en 2010 (source : DUP du 06/12/2010 et CA22, 2014).*

**b) Les actions de reconquête de type contractuel**

Une **convention de suivi agricole** tri-partite est signée en 1992 entre la Chambre d'agriculture des Côtes d'Armor, le Département des Côtes d'Armor et le Syndicat des Eaux de Plourhan-Lantic (SEPL). Financée par le Conseil Général, cette action consiste en une opération de conseil en fertilisation et en agronomie auprès des cinq exploitants agricoles exerçant sur le PPC. Le bilan de ce suivi agricole sur la période 1992-1996 montre que  $\frac{1}{4}$  du PPC est alors boisé et que la surface agricole utile (SAU) représente  $\frac{2}{3}$  de sa superficie totale, les pois et les légumes (pomme de terre et chou-fleur) constituant les principales cultures. La Chambre d'agriculture note toutefois que bien que les cinq exploitants soient réceptifs aux pratiques de fertilisation raisonnée, ils peinent à modifier leurs pratiques pour respecter les servitudes, notamment au regard de l'épandage de déjections à l'automne et des apports d'azote minéral (Chambre d'agriculture des Côtes d'Armor, 1996). En l'absence de données spécifiques, le coût de la première convention agricole tripartite de 1992 est supposé égal au coût de la seconde convention conclue en 2014, à savoir 3 600 € sur l'ensemble de la durée du contrat.

En 2004, le SEPL mobilise de nouveau le Conseil Général et la Chambre d'agriculture pour réaliser un **état des lieux des PPC** ainsi qu'un **bilan quantitatif et qualitatif des ressources en eau**. Le Syndicat souhaite ainsi maintenir sa vigilance quant aux activités pratiquées à proximité du captage. Dix-neuf propriétaires sont alors recensés sur le PPC dont trois se partagent les trois quarts du périmètre. Les cinq exploitants recensés en 1996 sont quant à eux toujours présents en 2004. Ce bilan permet de constater une stabilisation de la SAU sur le PPC mais une hausse des prairies permanentes. Il fait également état d'une situation préoccupante au regard du paramètre nitrates. La Chambre d'agriculture recommande alors de réviser le PPC, de faire respecter les servitudes actuelles et de renforcer le niveau de leurs contraintes. L'étude réalisée par la Chambre d'agriculture a coûté 1 800 € au SEPL et au Département.

Face à ce constat, le SEPL engage en 2007 une opération de maîtrise de l'usage des sols reposant sur des **acquisitions foncières** et des **échanges de parcelles**. Le décès d'un exploitant dont les parcelles sont situées sur le PPC constitue une première opportunité d'achat à l'amiable. Dans le même temps, des échanges de parcelles sont organisés par la SAFER (Société d'Aménagement Foncier et d'Établissement Rural) qui achète des terres situées en dehors du PPC et les échange de gré à gré avec des parcelles situées sur le PPC dont le syndicat devient alors propriétaire. Avec l'aide de la SAFER, le SEPL acquiert ainsi 49 ha de parcelles agricoles (Figure 6). Ces parcelles sont d'abord mises en herbe en 2007 puis une partie d'entre elles (26 ha) est louée pour être cultivée (colza et blé) via un **bail SAFER de cinq ans** (2008-2012) conclu avec un exploitant agricole local. L'achat par le SEPL de 49 ha situés sur le PPC a généré des coûts relatifs aux postes suivants:

- acquisition des parcelles : 492 700 € ;
- échanges menés à bien par la SAFER (négociations, rédaction des baux SAFER, acquisitions en dehors du PPC, etc.) : 35 900 € ;
- frais administratifs et notariés : 8 000 €.

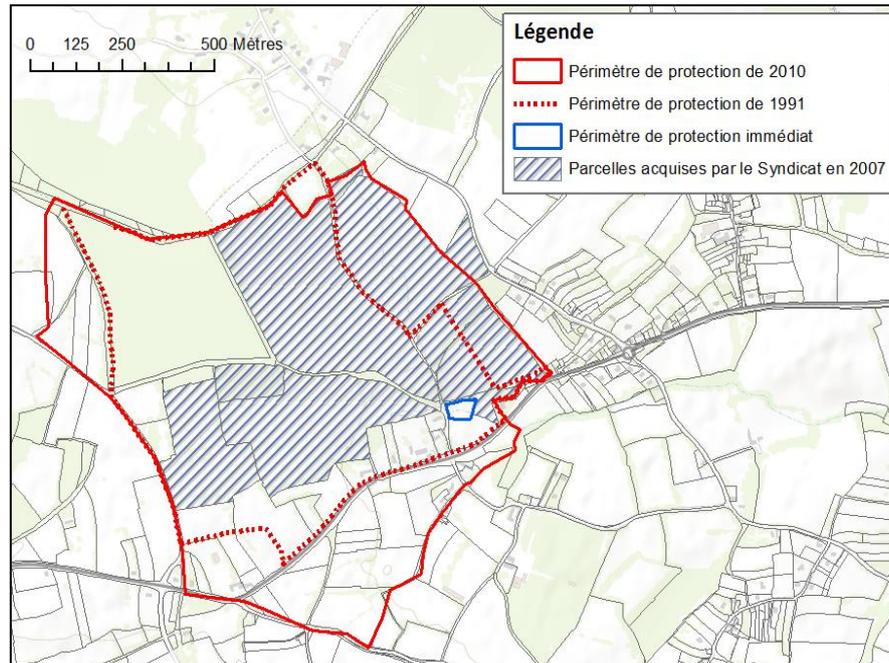


Figure 6 : Localisation géographique des parcelles acquises en 2007 par le Syndicat des Eaux de Plourhan-Lantic.

À l'arrivée à échéance du bail SAFER en 2012, le syndicat a demandé à récupérer ses terres, l'exploitant ne respectant pas les contraintes environnementales imposées par la DUP. Or, la passation s'effectue dans des conditions difficiles de telle sorte que la collectivité ne retrouve la gestion de ses terres qu'en juin 2013. Les parcelles sont alors **mises en herbe** sans apports de fertilisant. Chaque année, les exploitants riverains se voient attribuer le droit de faucher certaines parcelles et d'exporter la matière première sous forme de foin ou d'ensilage. Le syndicat vend ainsi l'herbe sur pied au tonnage ce qui lui permet d'obtenir un retour sur son investissement d'ensemencement. La Communauté de Communes du Sud Goëlo (CCSG) a supporté un coût d'ensemencement de 5 300 € après sa prise de compétence « eau potable » en 2013. L'entretien des parcelles s'effectue ensuite à travers la vente de foin aux exploitants riverains. Le foin est vendu en moyenne 20 €/tonne. La collectivité n'identifie pas d'autres coûts relatifs à la gestion des parcelles.

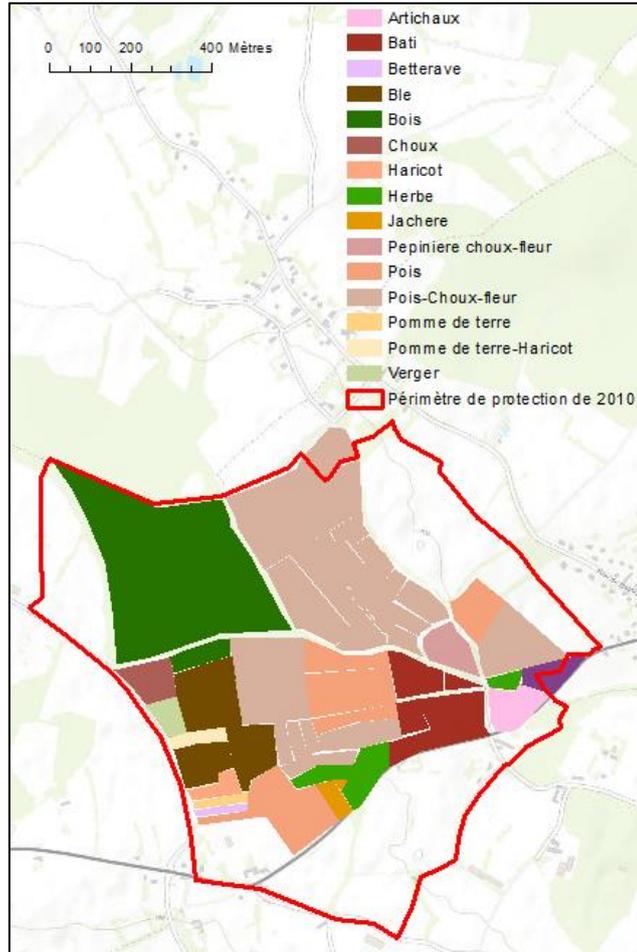


Figure 7 : Occupation du sol sur le PPC en 1991 (source : CA22 et BRGM).

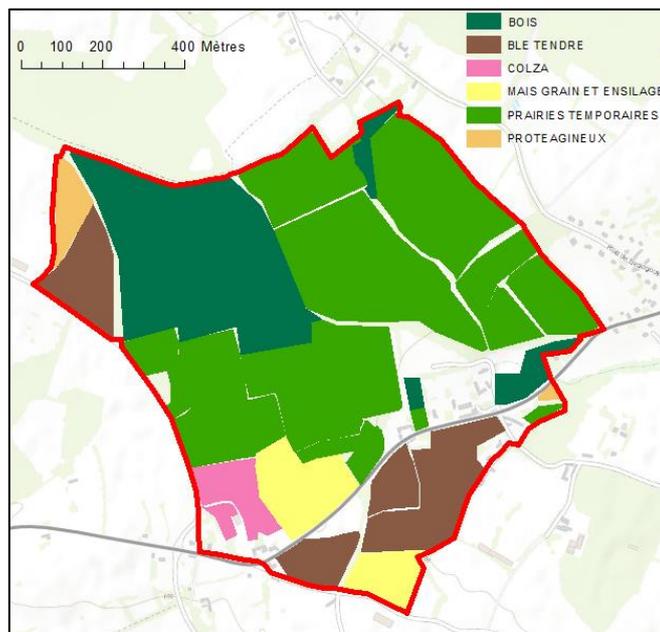


Figure 8 : Occupation du sol sur le PPC en 2015 (source : CA22 et BRGM).

En 2013, la compétence eau potable sur les communes de Plourhan et Lantic est transférée à la Communauté de Communes du Sud Goëlo (CCSG). En 2014, une nouvelle **convention de suivi agricole** tri-partite est conclue sur trois ans (2014-2016). Elle vise à réaliser un bilan des pratiques, sensibiliser les exploitants à la protection de la ressource en eau et rappeler à l'ensemble des parties-prenantes la réglementation sur le PPC. Ce suivi met en évidence le respect des contraintes de fertilisation et d'occupation du sol (maintien de prairies permanentes sur la zone très sensible) mais identifie certains points à améliorer (couverture des sols en hiver). La SAU comporte dorénavant 43 ha en prairies permanentes gérées par la CCSG. La surface exploitée directement par des agriculteurs n'est plus que de 24,7 ha, soit 24 % de la surface totale du PPC. La CCSG est quant à elle propriétaire de plus de 46 ha sur le PPC, essentiellement localisées dans la zone très sensible (plus de 32 ha). Le coût de la convention de suivi agricole tri-partite entre 2014 et 2016 s'est élevé à 3 600 € sur la durée totale du contrat.

Selon la Chambre d'agriculture des Côtes d'Armor, les parcelles de trois exploitants représentant entre 4 et 16 ha de SAU ont fait l'objet de **Mesures Agro-Environnementales (MAE)** depuis 1999. Pour souscrire une MAE, les changements de pratiques agricole doivent être différents des obligations de l'arrêté de DUP et plus exigeants que les prescriptions figurant dans le rapport de l'hydrogéologue agréé. Sur le PPC, deux exploitants se sont convertis à l'agriculture biologique, l'un en 2002, l'autre en 2008. Chacun a donc bénéficié d'aides à la conversion et au maintien de l'agriculture biologique dont les montants varient selon l'année et le type de culture (Tableau 5).

Type de cultures	Aide à la conversion (€/ha/an)		Aide au maintien (€/ha/an)		
	Grandes cultures	Légumes	Grandes cultures	Légumes	Prairies
1992 - 1999 <sup>1</sup>	Années 1 et 2 : 181	Années 1 et 2 : 304	Non existante		
2000 - 2006 <sup>1</sup>	Années 1 et 2 : 366 Années 3 et 4 : 183 Année 5 : 122	Années 1 et 2 : 457 Années 3 et 4 : 229 Année 5 : 152			
2007 - 2010 <sup>2</sup>	200	350	100	150	80
2011 - 2014 <sup>3</sup>	200	350	100	150	80
2015 - 2020 <sup>3</sup>	300	450	160	250	90

Sources : <sup>1</sup> Commission européenne et al (2008) ; <sup>2</sup> FEADER (2007) ; <sup>3</sup> MAAF (2015).

Tableau 5 : Montant des aides à l'agriculture biologique sur le PPC.

Un troisième exploitant a bénéficié d'une MAE territoriale entre 2011 et 2015 (contrat de 5 ans) au titre de la réduction de l'indice de fréquence de traitement par les herbicides (88 €/ha/an).

Le montant des aides versées sur la période 1991-2015 a été estimé par année en fonction de la superficie des parcelles de chaque exploitant et le type de culture. En moyenne, il s'élève à 784 €/ha/an en moyenne (Figure 9) pour un total actualisé de 18 800 € sur l'ensemble de la période.

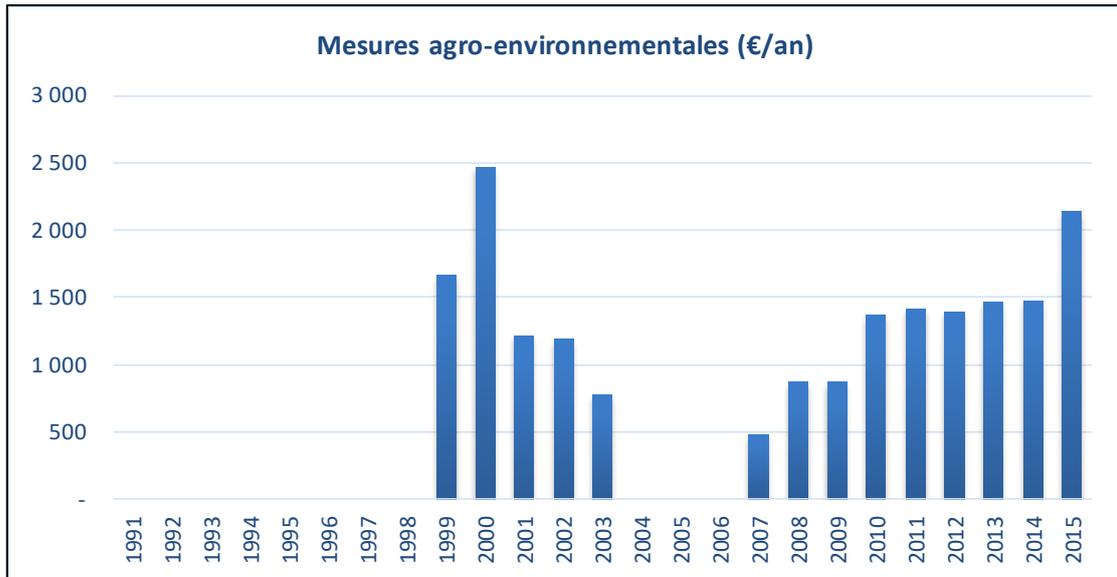


Figure 9 : Montants versés sur le PPC au titre des mesures agro-environnementales sur la période 1991-2015.

### 2.3.3. Les actions curatives

En 1993, pour compléter l’approvisionnement en eau potable du SEPL dont un ancien forage (ressource de Bringolo) vient d’être abandonné, **les forages profonds de Beaugouyen sont mis en service** (DUP du 17/5/1991). Leur PPC s’étend sur 43,2 ha au nord du captage de la Ville Héliio. L’inscription des servitudes aux hypothèques date de novembre 2003. La filière d’approvisionnement alors mise en place permet un mélange des eaux de façon à diluer les nitrates présents dans les eaux prélevées à la Ville Héliio et dont les concentrations sont en augmentation. La mise en service des captages de Beaugouyen résulte de la fermeture d’un ancien captage (ressource de Bringolo). Elle n’est pas directement liée à l’augmentation des teneurs en nitrates dans le captage de la Ville Héliio. Le coût de création n’est donc pas pris en compte dans cette évaluation. La nécessité aujourd’hui de mélanger les eaux dans un réservoir unique résulte bien en partie de la problématique nitrates. Toutefois, la part des coûts de ce dispositif imputable aux nitrates n’a pas pu être estimée.

En 2013, des **travaux de modernisation sont effectués sur la station de traitement de Ville Sault** (remplacement des canalisations, renouvellement du filtre, mise en place d’un poste de soude pour corriger le pH) qui peut désormais traiter un débit nominal de 20 m<sup>3</sup>/h. La consigne de dilution des nitrates dans le réservoir est modifiée en vue de pallier la baisse de production des forages de Beaugouyen. La cible en termes de concentration en nitrates augmente de 35 mg/L avant les travaux de modernisation à 45 mg/L après les travaux (CG 22, 2015). En conséquence, depuis 2014, la production du captage de la Ville Héliio a considérablement augmenté, passant de 43 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne sur la période 2009-2013 à 80 000 m<sup>3</sup>/an sur la période 2014-2015 (Figure 10). La part du volume d’eau mis en distribution par le SEPL provenant du captage de la Ville Héliio est ainsi passée de 26 % en 2011 à 40 % en 2015. Les travaux de modernisation de la station de traitement de Ville Sault visaient à moderniser les outils de production d’eau potable à travers le passage du maërl marin au calcaire terrestre. Ces motivations sont explicitées dans le compte-rendu de la session du 2 avril 2012 du Comité Syndical du SEPL. Le coût de ces travaux n’est donc pas directement imputable à la problématique nitrates bien qu’il soit probable que certains choix techniques aient été influencés par la volonté de diminuer les teneurs en nitrates dans les eaux distribuées.

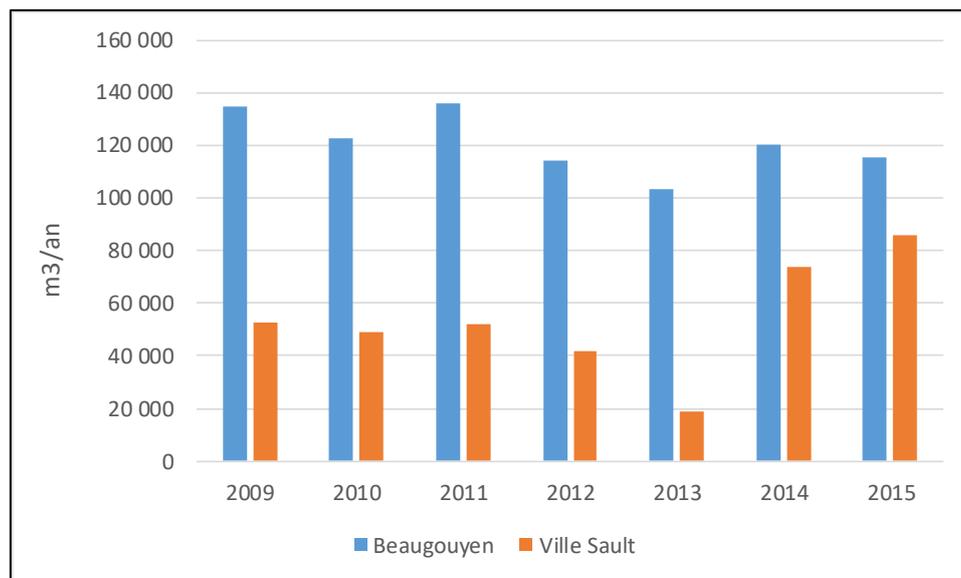


Figure 10 : Évolution de la production d'eau potable à Ville Sault et Beaugouyen (2009-2015)<sup>4</sup>.

En 2016, une étude intitulée « Pérennisation de la production AEP communautaire - Bilan de fonctionnement des sites de production d'eau potable de Beaugouyen et de la Ville Hélios sur la commune de Plourhan et établissement d'un programme de travaux pluriannuel » a été commanditée par la CCSG. Cette étude fait un état des lieux des deux sites de captage et propose un programme d'actions et d'investissements pour pallier le colmatage des forages de Beaugouyen. Le rapport final alerte quant à la nécessité de renforcer la production du site de Beaugouyen, compte tenu de l'évolution de la demande en eau (environ 600 m<sup>3</sup>/j en 2016) et de l'exploitation désormais considérée comme optimale du captage de la Ville Hélios. En particulier, le rapport conclut que « les données recueillies sur le site de la Ville Hélios indiquent que l'exploitation du captage est depuis fin 2014 optimisée au maximum avec une production limitée non plus par la dilution des teneurs en nitrates comme c'était le cas auparavant, mais par la capacité de transfert de la canalisation entre le puits et la station (débit max. proche de 12-13 m<sup>3</sup>/h) ». À ce titre, les acteurs locaux interrogés dans le cadre de cette étude rappellent que les contraintes à l'augmentation des prélèvements à la Ville Hélios sont multiples (débit de la canalisation d'amenée d'eau à Ville Sault, capacité de production de la station de traitement de Ville Sault limitée à 20 m<sup>3</sup>/h pour 20 à 22 heures de fonctionnement par jour, débit de prélèvement autorisé par la DUP limité à 150 000 m<sup>3</sup>/an, concentrations en nitrates, etc.). L'ensemble des actions d'investissement proposées portent donc sur les forages de Beaugouyen. Le coût de l'étude de pérennisation de la production AEP commanditée par la CCSG est de 22 710 € (CCSG, 2016).

En 2017, la CCSG fusionne avec la Saint-Brieuc Armor Agglomération (SBAA) qui prend alors la compétence eau potable sur le secteur d'étude.

<sup>4</sup> Les périodes 2012-2013 et 2013-2014 ne sont pas significatives. Les faibles volumes produits s'expliquent par l'arrêt des stations pour les travaux. Sur la période 2012-2013, les stations ont été à l'arrêt pour travaux pendant 4 mois pour Beaugouyen et 5 mois pour Ville Sault. Sur la période 2013-2014, la station de Ville Sault a été à l'arrêt pour travaux pendant 2 mois. Le complément a été comblé via des imports d'eau plus importants en provenance du SDAEP (LOG HYDRO et ACDDUC, 2016).

### 2.3.4. Synthèse

D'après les données disponibles, le coût moyen annuel associé aux actions curatives et de reconquête liées à la contamination par les nitrates de l'eau du captage de la Ville Hélios est estimé à 46 k€/an en moyenne sur la période 2008-2015, soit 0,71 €/m<sup>3</sup> prélevé ou 456 €/ha/an. Cette valeur sous-évalue vraisemblablement le coût total pour la société, plusieurs postes de coûts n'ayant pas pu être estimés, notamment les actions curatives.

La Figure 12 et le Tableau 6 montrent la distribution des coûts dans le temps, selon les quatre périodes identifiées dans la section 2.3.1 :

- absence de coûts dans la période *Laisser-faire* jusqu'en 1991 ;
- premiers coûts associés aux actions de reconquête sur les périodes 1992-2002 puis 2003-2007 (coût estimé à 3,6 k€/an, soit 0,07 €/m<sup>3</sup> prélevé ou 56 €/ha/an) pendant lesquelles la concentration en nitrates continue d'augmenter puis se stabilise ;
- augmentation des coûts associés aux actions de reconquête après les premières études relatives à l'extension du périmètre de protection et les acquisitions foncières qui les ont suivi (coût estimé à 54 k€/an en moyenne, soit 0,83 €/m<sup>3</sup> ou 535 €/ha/an) depuis 2008, période pendant laquelle on observe une diminution de la concentration en nitrates.

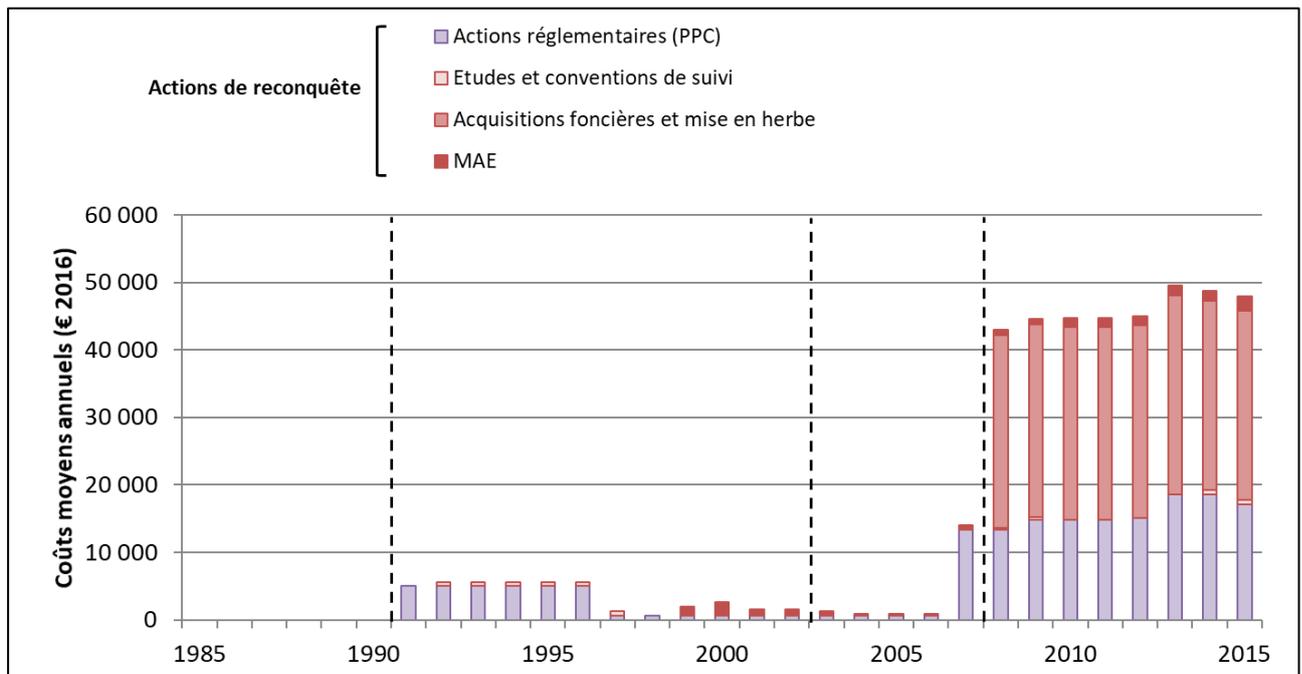


Figure 11 : Estimation des coûts annuels de mise en œuvre des actions de reconquête de la qualité de l'eau mises en œuvre depuis 1991 sur le captage de la Ville Hélios (en €/an)<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Les coûts moyens annuels cumulés sont estimés avec un taux d'actualisation de 2 % et les hypothèses de durée de vie suivantes : 6 ans pour les études et coûts administratifs, 25 ans pour les acquisitions foncières, et 3 ans pour les indemnités liées aux PPC, conformément au protocole d'accord relatif à la protection des points d'eau publics destinés à l'alimentation en eau potable dans les Côtes d'Armor et au barème d'indemnisation forfaitaire des exploitants agricoles évincés à la suite d'acquisitions immobilières réalisées dans le cadre d'une procédure d'expropriation qui stipulent que l'indemnité d'exploitation est forfaitairement estimée à raison de trois années de perte de marge brute dans le cas d'un exploitant en fermage.

		« Laisser-faire »	Curatif + Reconquête		
		1968-1991	1992-2002	2003-2007	2008-2015
CMA Reconquête	k€/an	-	3,5	3,6	54,0
CMA Curatif	k€/an	-	n.d.	n.d.	n.d.
CMA Préservation	k€/an	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>k€/an</b>	-	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>54,0</b>
Volume prélevé	m <sup>3</sup> /an	50 000	50 000	50 000	65 000
CMA Reconquête	€/m <sup>3</sup>	-	0,07	0,07	0,83
CMA Curatif	€/m <sup>3</sup>	-	n.d.	n.d.	n.d.
CMA Préservation	€/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	-	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>0,83</b>
Superficie de l'AAC	ha	-	64	64	101
CMA Reconquête	€/ha/an	-	55	56	535
CMA Curatif	€/ha/an	-	n.d.	n.d.	n.d.
CMA Préservation	€/ha/an	-	0	0	0
<b>Total</b>	<b>€/ha/an</b>	-	<b>55</b>	<b>56</b>	<b>535</b>

Tableau 6 : Synthèse des coûts associés aux actions mises en œuvre sur le territoire de Plourhan sur la période 1968-2015.

## 2.4. ÉVALUATION DES COÛTS FUTURS ASSOCIÉS À LA RECONQUÊTE DE LA QUALITÉ DE L'EAU

À l'avenir, les simulations effectuées dans le cadre du projet POLDIF à l'aide du modèle BICHE montrent que le maintien des pratiques agricoles actuelles (en considérant une poursuite des conditions climatiques passées) permet de reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage : les concentrations en nitrates devraient passer sous le seuil des 50 mg/L autour de 2025 (Figure 12).

La trajectoire d'évolution du territoire de Plourhan peut se décomposer de la manière suivante (Figure 12) : après une phase de *Laisser-faire* de plus de vingt ans (1968-1991), une phase de *Reconquête* de la qualité de l'eau se met en place, accompagnée de quelques actions curatives. D'après les résultats de simulation BICHE, cette phase *Reconquête + Curatif* durera 34 ans au total (jusqu'en 2025), pour laisser place ensuite à une phase de préservation.

En d'autres termes, la phase de *Laisser-faire* a généré une « dette écologique » qui a commencé à être payée dès 1992 par la collectivité. Sur la période 1992-2015, cette dette a généré des coûts de 19 k€/an en moyenne. On estime que cette dette écologique sera effacée en 2025, dès lors que la qualité de l'eau du captage sera rétablie durablement. Les coûts restant à payer pour effacer la dette sont estimés à 35 k€/an (0,41 €/m<sup>3</sup> prélevé) en moyenne pendant 10 ans (sur la période 2016-2025).

Les actions mises en œuvre à l'échelle du PPC permettent de reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage dès 2025. Ces actions peuvent également générer des bénéfices environnementaux non liés directement à la qualité de l'eau du captage. Le chapitre 2.5 s'intéresse à leur évaluation.

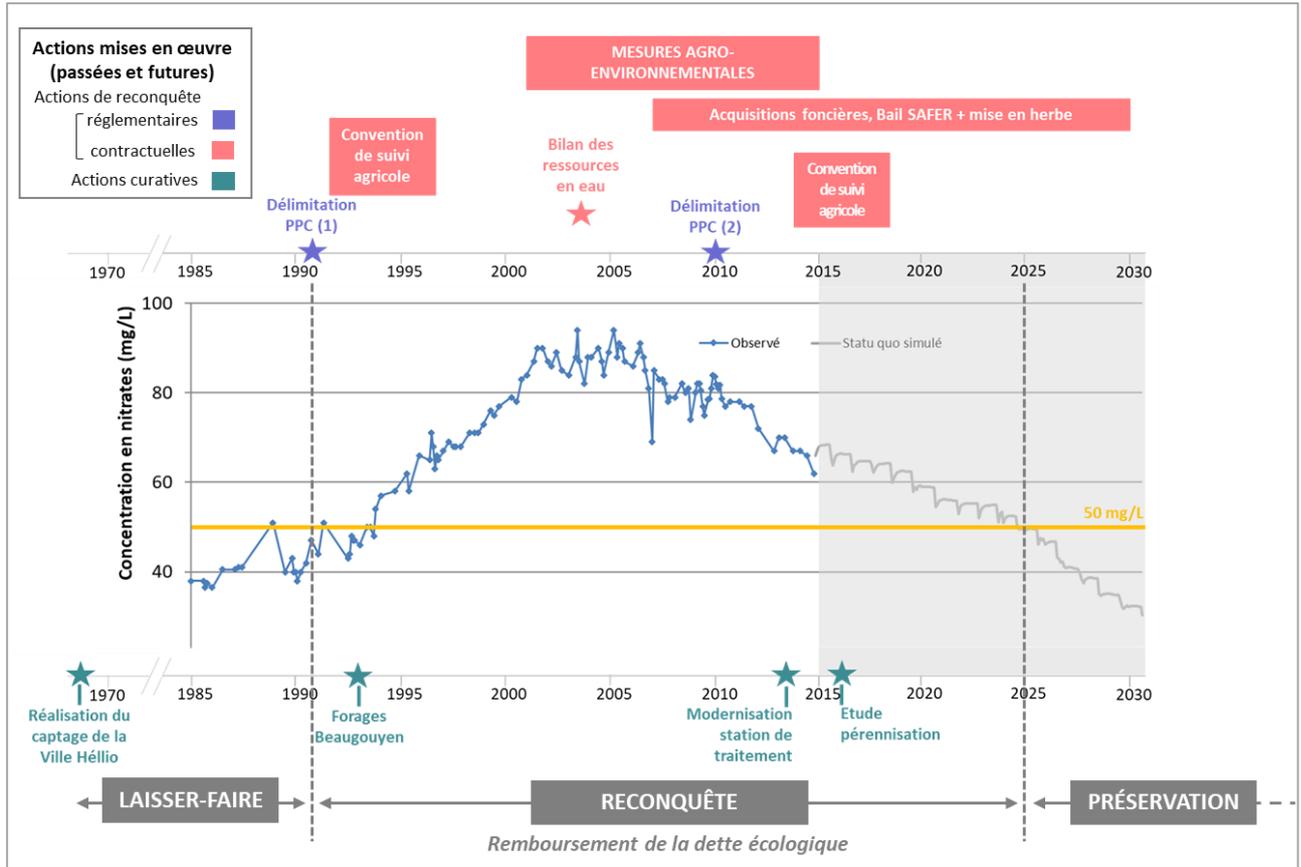


Figure 12 : Actions passées et potentielles futures mises en œuvre sur Plourhan, en lien avec la concentration en nitrates de l'eau du captage de la Ville Hélio.

		« Laisser-faire »	Curatif + Reconquête			Préservation
		1968-1991	1992-2007	2008-2015	2016-2025	> 2025
CMA Reconquête	k€/an	-	3,6	54,0	35,0	-
CMA Curatif	k€/an	-	n.d.	n.d.	n.d.	-
CMA Préservation	k€/an	-	-	-	-	< 35,0
<b>Total</b>	<b>k€/an</b>	-	<b>3,6</b>	<b>54,0</b>	<b>35,0</b>	<b>&lt; 35,0</b>
Volume prélevé	m <sup>3</sup> /an	50 000	50 000	65 000	86 000	86 000
CMA Reconquête	€/m <sup>3</sup>	-	0,07	0,83	0,41	-
CMA Curatif	€/m <sup>3</sup>	-	n.d.	n.d.	n.d.	-
CMA Préservation	€/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	< 0,41
<b>Total</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	-	<b>0,07</b>	<b>0,83</b>	<b>0,41</b>	<b>&lt; 0,41</b>
Superficie de l'AAC	ha	-	64	101	101	101
CMA Reconquête	€/ha/an	-	56	535	347	-
CMA Curatif	€/ha/an	-	n.d.	n.d.	n.d.	-
CMA Préservation	€/ha/an	-	0	0	0	< 347
<b>Total</b>	<b>€/ha/an</b>	-	<b>56</b>	<b>535</b>	<b>347</b>	<b>&lt; 347</b>

Tableau 7 : Synthèse des coûts associés aux actions mises en œuvre sur le territoire de Plourhan sur la période 1968-2015 et estimation des coûts futurs.

## 2.5. ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES RENDUS PAR LE PÉRIMÈTRE DE PROTECTION DU CAPTAGE DE LA VILLE HÉLLIO

Ce chapitre vise à identifier, caractériser et quantifier la valeur économique des bénéfices environnementaux générés par les écosystèmes présents sur le PPC de la Ville Héllio. La réalisation d'entretiens auprès d'une douzaine d'acteurs locaux ont permis d'identifier et de quantifier sept services écosystémiques présents sur le PCC de la Ville Héllio : deux services d'approvisionnement (la production de bois et la production agricole), trois services de régulation (le stockage et la séquestration du carbone, la régulation du cycle de l'eau et la réduction des algues vertes), et deux services culturels liés aux activités récréatives (la chasse et le cyclisme). Les sections suivantes en présentent les principales caractéristiques.

Sauf mention contraire, les valeurs économiques présentées dans ce chapitre se réfèrent à l'année 2015, c'est-à-dire que les surfaces considérées sont celles de 2015, le PPC considéré est celui de 2010 et les valeurs économiques sont exprimées en €<sub>2015</sub>.

### 2.5.1. Production de bois

#### a) Description du service

Le PPC recèle 20 hectares de forêts privées constituées essentiellement de mélanges de feuillus et de châtaigniers purs (Corine Land Cover et BD Forêt).

À notre demande, le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF) a accepté de caractériser sommairement le massif de 15 ha situé au nord-ouest du PPC. Cette reconnaissance de terrain a permis de confirmer la présence de châtaigniers, de chênes, de divers feuillus (tremble, érable sycomore) et de quelques résineux minoritaires disséminés (sapin pectiné, épicéa, etc.). L'ensemble est regroupé sous un type de peuplement intitulé futaie-taillis, il s'agit ainsi d'une forêt typique des forêts de feuillus des Côtes d'Amor. Cependant, le massif n'est pas surexploité, son principal attrait reposant sur son intérêt cynégétique. Environ 15 % de sa superficie est exploitée de façon dite passive, à travers la cueillette du bois mort (chablis) resté en l'état suite à la tempête de 1987 et les coups de vents récents. Globalement, le CRPF estime la production annuelle de bois à hauteur de 4 à 6 m<sup>3</sup>/ha/an. On retient ici 6 m<sup>3</sup>/ha/an (production annuelle biologique). Le bois est vraisemblablement récolté par le propriétaire ou par des particuliers. Il est utilisé comme bois de chauffage. Quelques éclaircies semblent réalisées ponctuellement.

En l'absence de données locales, nous supposons que les 5 ha supplémentaires de parcelles boisées réparties sur le PPC possèdent les mêmes caractéristiques que le massif caractérisé par le CRPF. La production de bois sur le PPC est ainsi très faible (environ 27 m<sup>3</sup>/an).

#### b) Évaluation économique

La valeur économique de la production de bois est estimée par la méthode des prix de marché qui consiste à valoriser un bien ou un service à hauteur du prix auquel il s'échange sur les marchés. Selon le CRPF, le prix de vente du bois sur pied (hors coûts d'exploitation) est compris localement entre 10 et 20 €/stère, soit l'équivalent de 7 à 13 €/m<sup>3</sup> pour le bois de chauffage.

La valeur de la production annuelle de bois varie selon les hypothèses de prix retenues entre 126 et 234 €/an.

	Bois de chauffage	
	Min	Max
Production de bois par usage (m <sup>3</sup> /an)	18	
Prix de marché (€/m <sup>3</sup> )	7	13
<b>Valeur économique de la production de bois (€/an)</b>	<b>126</b>	<b>234</b>

Tableau 8 : Valeur économique de la production annuelle de bois par usage.

## 2.5.2. Production agricole

### a) Description du service

La surface agricole utile (SAU) a beaucoup évolué sur le PPC depuis sa création en 1991. En 2015, elle couvre 70 ha, dont 48 ha de prairies parmi lesquels 43 ha appartiennent à la CCSG. Ces surfaces sont laissées en herbe et fauchées une fois par an par les exploitants riverains.

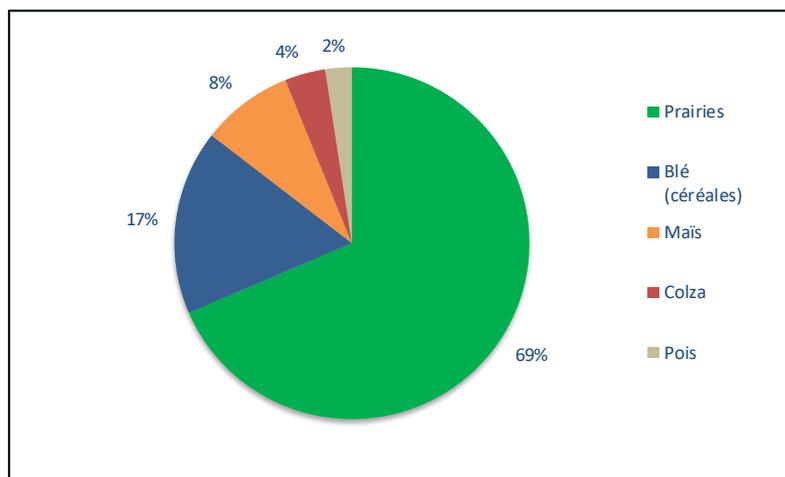


Figure 13 : Répartition de la SAU sur le PPC, par type d'assolement en 2015 (source : BRGM, CA22).

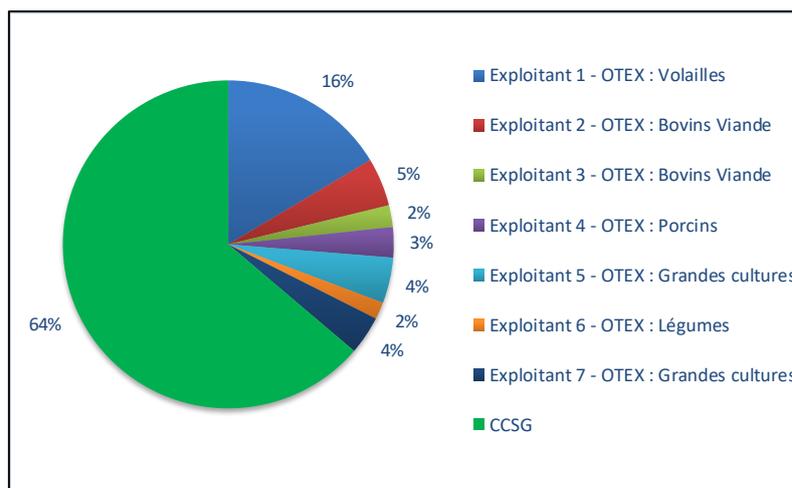


Figure 14 : Répartition de la SAU sur le PPC, par exploitant en 2015

(source : BRGM, CA22).

La surface exploitée directement par des agriculteurs sur le PPC est de 25 ha. Sept exploitants agricoles se partagent cet espace. Cinq types d'orientations technico-économiques (OTEX) sont présents (volailles, bovins viande, porcins, grandes cultures et légumes). De plus, deux exploitants sont en agriculture biologique : une productrice de poules pondeuses convertie en 2002 et un producteur de légumes converti en 2008 (CA22, 2014).

### **b) Évaluation économique**

La valeur économique de la production agricole est estimée par la méthode des prix de marché qui consiste à valoriser la production agricole à hauteur de la valeur créée par les activités agricoles exercées sur la zone. L'indicateur utilisé pour estimer cette valeur est l'Excédent Brut d'Exploitation (EBE) qui correspond à la ressource d'exploitation dégagée au cours d'une période après paiement des charges de personnel.

Pour les parcelles exploitées par des agriculteurs, l'EBE moyen par type d'OTEX dans la région Bretagne est extrait du Réseau d'information Comptable Agricole (RICA) pour l'année 2015<sup>6</sup>. Il est ensuite appliqué à chaque exploitation selon son type d'OTEX. Un facteur exprimant le différentiel d'EBE moyen entre l'agriculture biologique et l'agriculture conventionnelle a également été intégré à l'analyse pour les exploitations biologiques. Ce différentiel est estimé en France à 32 % pour les exploitations maraîchères (INSEE Références, 2017). Il est nul pour la filière volailles (INRA, 2013).

	Exploitant 1	Exploitant 2	Exploitant 3	Exploitant 4	Exploitant 5	Exploitant 6	Exploitant 7	Total
Type d'OTEX	Volailles	Bovins Viande	Bovins Viandes	Porcins	Grandes cultures	Légumes	Grandes cultures	-
Agriculture biologique	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	-
SAU dans le PPC (ha)	11,06	3,21	1,45	2,02	3,04	1,13	2,55	24,45
EBE (k€/ha)	4,03	0,55	0,55	1,34	2,11	23,15	2,11	-
Valeur économique (€/an)	44 579	1 753	793	2 703	6 413	34 512	5 387	<b>96 141</b>

Tableau 9 : Valeur économique associée à la production agricole.

Sur les parcelles de prairies de la CCSG, le foin est vendu aux exploitants riverains au prix moyen de 20 €/tonne. Ce prix est fixé de façon à couvrir les charges liées à l'ensemencement et à l'entretien des parcelles. Ainsi, l'EBE généré par ces prairies est nul.

La valeur de la production agricole est estimée à 96 k€/an.

<sup>6</sup> Pour le maraîchage, les données de 2014 ont été utilisées car les données 2015 ne sont pas disponibles à cause du secret statistique.

### 2.5.3. Stockage et séquestration du carbone

#### a) Description du service

Les forêts et les prairies jouent un rôle déterminant dans la régulation du climat planétaire. D'une part, elles absorbent les composés atmosphériques contenant du carbone lors de la photosynthèse. D'autre part, elles libèrent des gaz à effet de serre par respiration, décomposition ou combustion (IFN, 2005).

Le carbone absorbé par la végétation est stocké dans :

- la biomasse, on différencie alors le stockage de biomasse aérienne, c'est-à-dire le carbone stocké au-dessus du sol dans les feuilles et branches des arbres par exemple, et le stockage de biomasse souterraine, dans les racines des plantes notamment ;
- le sol, le carbone se trouve alors essentiellement sous forme organique.

Concernant les modalités de séquestration du carbone, on différencie :

- le flux annuel de fixation (ou absorption) de carbone qui correspond à la différence entre les quantités de carbone absorbées (en fonction de l'accroissement de la végétation en volume) et rejetées (en fonction des récoltes et de la mortalité des arbres) par la végétation sur une année donnée. Le flux annuel de fixation s'exprime en tonne équivalent CO<sub>2</sub>/an<sup>7</sup> (teqCO<sub>2</sub>/an) ;
- le stockage de long-terme qui est la somme des quantités stockées annuellement sur la durée de vie de l'écosystème. Le carbone stocké à long-terme n'est pas stocké à vie : il assure une fonction de protection contre l'effet de serre dont il permet de retarder les impacts (toute matière organique étant à terme minéralisée). La durée de stockage de long-terme est estimée à 30 ans. Ainsi, les quantités stockées peuvent être considérées comme un capital immobilisé sur une longue période dont les bénéfices correspondent non pas à la valeur totale mais à la rémunération annuelle. Le stockage de long-terme s'exprime en teqCO<sub>2</sub> stockées sur la durée de vie de l'écosystème.

Sur le PPC, l'essentiel des quantités de carbone fixées et stockées sur le long-terme proviennent de la capacité de stockage dans le sol et dans la biomasse des forêts ainsi que de la capacité de stockage de carbone des prairies dont le stockage aérien de biomasse est considéré comme négligeable (Puydarrieux et Devaux, 2013). Le carbone stocké par ces prairies permanentes provient donc du stockage de long-terme et du flux annuel de carbone dans le sol et dans la biomasse souterraine.

L'évaluation économique du service de fixation et de stockage de carbone par les prairies permanentes et les forêts nécessite de différencier pour chacun le stockage de long-terme et la fixation annuelle de carbone.

#### b) Évaluation de la capacité de stockage de long-terme

##### • Forêts

La capacité de stockage du carbone des forêts dépend de nombreux facteurs propres aux territoires (climat, type de sol, etc.) et aux peuplements (essences dominantes, production biologique, âge, régime sylvicole, etc.). Des coefficients de stockage de long-terme du carbone

---

<sup>7</sup> Les émissions de gaz à effet de serre sont généralement exprimées en tonne équivalent CO<sub>2</sub> (teqCO<sub>2</sub>), unité commune pour l'ensemble des gaz à effet de serre qui prend en compte leurs caractéristiques (durée de vie et capacité à réchauffer la planète).

par essence ont été estimés pour la France dans le cadre du projet CARBOFOR (Lousteau, 2004)<sup>8</sup>. Considérés dans la littérature comme des valeurs de références (IFN, 2005), ces coefficients (en tC/m<sup>3</sup>) permettent de quantifier la capacité de stockage de différentes essences selon leur morphologie, leur densité et leur taux de carbone.

Le PPC recèle 20 ha de forêt de feuillus. Le Tableau 10 présente les résultats de l'application de la méthode mise au point par le projet CARBOFOR à ces surfaces de forêts. Conformément aux recommandations du CAS (2009), les hypothèses suivantes ont été utilisées :

- répartition du stockage : deux tiers de stockage souterrain (biomasse et sols) et un tiers de stockage aérien (biomasse) (Dupouey *et al.*, 2002)<sup>9</sup> ;
- taux d'immobilisation à long-terme du carbone : 75 % pour le stockage souterrain et 25 % pour le stockage aérien.

La quantité de carbone stockée dans les forêts du PPC est estimée à 6 823 teqCO<sub>2</sub>, soit 341 teqCO<sub>2</sub>/ha ou 95 tC/ha. Il convient de noter que le volume de bois sur pied (300 m<sup>3</sup>/ha) est significativement supérieur au volume moyen des forêts de feuillus dans les Côtes-d'Armor (171 m<sup>3</sup>/ha selon l'IFN) car les forêts du PPC ne sont pas exploitées à des fins sylvicoles. Il en résulte que la quantité de carbone stockée est nettement supérieure aux estimations disponibles à l'échelle des régions de France (IFN, 2005).

	<b>Forêt de feuillus</b>
Surface (ha)	20
Volume de bois sur pied (m <sup>3</sup> /ha) <sup>(1)</sup>	300
Volume de bois sur pied (m <sup>3</sup> )	6 000
Coefficient de stockage (tC/m <sup>3</sup> )	0,54
<b>Capacité de stockage de carbone (tC)</b>	<b>3 240</b>
Dont stockage souterrain (67%)	2 171
Dont stockage aérien (33%)	1 069
<b>Stockage de long-terme de carbone sur le PPC (tC)</b>	<b>1 895</b>
Dont stockage souterrain (75%)	1 628
Dont stockage aérien (25%)	267
<b>Stockage de long-terme de carbone sur le PPC (teqCO<sub>2</sub>) <sup>(2)</sup></b>	<b>6 823</b>
(1) Estimation du CRPF.	
(2) Ratio de conversion tC/teqCO <sub>2</sub> : 3,6	

Tableau 10 : Stockage de carbone de long-terme par les forêts du PPC.

<sup>8</sup> Financé par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable et le Ministère de l'Agriculture, le projet CARBOR a réuni entre 2002 et 2005 quatorze partenaires en vue de quantifier les impacts du changement climatique sur le bilan et le stockage de carbone, la production primaire et l'hydrologie des grands écosystèmes forestiers métropolitains. Lousteau *et al.* (2004) présente une synthèse des principaux résultats du projet.

<sup>9</sup> Selon Dupouey *et al.* (2002), la répartition est la suivante : sol (51 %), bois fort et branches (32 %), racines (7 %), litière (6 %), feuilles (2 %) et arbustes (2 %). En particulier, le carbone est stocké dans les sols sous forme organique. Il provient de la transformation des débris végétaux par les organismes vivants, essentiellement les micro-organismes.

- **Prairies**

Pour les prairies permanentes, le stockage de biomasse aérienne est considéré comme négligeable (Puydarrieux *et al.*, 2013). Évaluer le stockage de long-terme revient donc à évaluer le stock de carbone séquestré dans les sols qui dépend de la vitesse de décomposition de la matière organique dans les sols. Des coefficients de stockage de carbone par type de sols sont utilisés pour estimer cette valeur. En particulier, Arrouays *et al.* (2002) estiment le carbone stocké dans les sols de prairies à 69 tC/ha. Conformément aux recommandations de Puydarrieux *et al.* (2013) et du CAS (2009), il a été considéré que 75 % du carbone stocké par les prairies dans les sols était stocké sur le long-terme.

	<b>Prairies permanentes</b>
Surfaces de prairies (ha)	48
Coefficient de stockage (tC/ha)	69
Dont stockage souterrain	100 %
Dont stockage de long-terme	75 %
<b>Stockage de long-terme du carbone (tC)</b>	<b>2 472</b>
<b>Stockage de long-terme du carbone (tCO<sub>2</sub>eq)<sup>(1)</sup></b>	<b>8 898</b>
(1) Ratio de conversion tC/teqCO <sub>2</sub> : 3,6	

Tableau 11 : Stockage de carbone de long-terme par les prairies permanentes.

La quantité de carbone stockée dans les prairies est estimée à 8 898 teqCO<sub>2</sub>, soient 186 teqCO<sub>2</sub>/ha.

**c) Évaluation de la fixation annuelle du carbone**

- **Forêts**

Le flux annuel de carbone fixé par les forêts correspond à la quantité de carbone absorbée par la végétation lors de son accroissement auquel sont soustraits les prélèvements annuels et la mortalité. L'indicateur utilisé par l'IFN pour estimer l'accroissement annuel de matière bois produit par la croissance des arbres est la production biologique annuelle en volume des arbres vifs. Elle s'exprime en m<sup>3</sup>/ha/an. Le taux de mortalité des forêts de feuillus en Bretagne est estimé à 13,7 % en moyenne (MAAF - IGN, 2016, validé par le CRPF). Les prélèvements sont quant à eux issus de l'estimation du service de production de bois.

	<b>Forêt de feuillus</b>
Surface (ha)	20
Production biologique annuelle (m <sup>3</sup> /ha/an)	4
Production biologique (m <sup>3</sup> /an)	80
Taux de mortalité (%)	13,7 %
Mortalité (m <sup>3</sup> /an)	11
Prélèvements (m <sup>3</sup> /an)	18
Accroissement volume (m <sup>3</sup> /an)	51
Coefficient de stockage (tC/m <sup>3</sup> )	0,54
<b>Fixation annuelle de carbone (tC/an)</b>	<b>27,6</b>
<b>Fixation annuelle de carbone (tCO<sub>2</sub>/an)</b>	<b>99,2</b>

Tableau 12 : Fixation annuelle de carbone par les forêts.

Le flux annuel de carbone fixé par les forêts du PPC est estimé à 99,2 teqCO<sub>2</sub>/an, soient 1,38 tC/ha de forêt/an. Ces valeurs correspondent aux ordres de grandeurs indiqués pour la France par le CAS (2009) (entre -3 et +6 tC/ha/an).

• **Prairies**

Dans leur évaluation de la valeur économique des prairies permanentes, Puydarrieux *et al.* (2013) proposent d'utiliser un facteur de fixation annuelle de carbone par hectare compris entre 0,2 et 0,4 tC/ha/an, soit 0,72 à 1,44 teqCO<sub>2</sub>/ha de prairies/an. L'application de ce facteur aux prairies du PPC permet d'estimer la quantité de carbone fixée annuellement par les prairies entre 34 et 69 teqCO<sub>2</sub>/an.

	Prairies permanentes	
	Min	Max
Surfaces de prairies et autres surfaces toujours en herbe (ha)	48	
Coefficient de stockage (tC/ha/an)	0,2	0,4
<b>Fixation annuelle de carbone (tC/an)</b>	<b>10</b>	<b>19</b>
<b>Fixation annuelle de carbone (tCO<sub>2</sub>/an)</b>	<b>34</b>	<b>69</b>

Tableau 13 : Fixation annuelle de carbone par les prairies.

**d) Synthèse**

Le tableau ci-dessous résume la quantité de CO<sub>2</sub> stockée sur le long terme et fixée annuellement, à l'échelle du PPC.

	Stockage de long-terme (tCO <sub>2</sub> )	Fixation annuelle (tCO <sub>2</sub> /an)	
Forêts	6 823	99	
Prairies permanentes	8 898	34	69
<b>Total</b>	<b>15 722</b>	<b>134</b>	<b>168</b>

Tableau 14 : Quantité de carbone stockée et séquestrée annuellement.

**e) Évaluation économique**

La valorisation économique consiste ici à appliquer un prix aux quantités de CO<sub>2</sub> stockées et fixées par les écosystèmes. Le stockage et la fixation du carbone peuvent être valorisés sur la base (i) du prix de marché du carbone sur le marché européen des quotas d'émissions de CO<sub>2</sub>, (ii) du montant de la composante carbone des taxes intérieures sur la consommation des produits énergétiques d'origine fossile, ou (iii) de la valeur tutélaire du carbone :

- *le prix du carbone sur le marché européen des quotas d'émission.* En Europe, un marché de quotas a été mis en place pour les secteurs de l'énergie et de l'industrie qui sont les plus gros émetteurs de CO<sub>2</sub>. La tonne de CO<sub>2</sub> s'y échange en moyenne à 8 euros en 2015 (European Energy Exchange – EEX). Pour pallier la faiblesse de ce signal prix qui est insuffisant pour

stimuler les investissements bas-carbone, la France a proposé la mise en place d'un corridor de prix<sup>10</sup> (MEEM, 2016) ;

- *la composante carbone des taxes intérieures sur la consommation des produits énergétiques d'origine fossile.* Cette composante, aussi appelée taxe carbone, s'élevait à 14,50 €/teqCO<sub>2</sub> en 2015 puis à 22€/teqCO<sub>2</sub> en 2016. La loi de transition énergétique pour la croissance verte prévoit une trajectoire de taxe croissante : 56 euros en 2020 et 100 euros en 2030<sup>11</sup> (Meem, 2016) ;
- *la valeur tutélaire du carbone.* Pour guider ses choix d'investissement en matière d'infrastructure, l'État intègre dans l'analyse socio-économique des projets une valeur tutélaire du carbone (Quinet, 2008) : 32 €/teqCO<sub>2</sub> en 2008, croissant au taux de 5,8 % entre 2010 et 2030 jusqu'à atteindre 100 €/teqCO<sub>2</sub> en 2030, puis un taux croissant au taux d'actualisation après 2030. Ce montant correspond aux coûts estimés des dommages associés aux émissions de gaz de serre en France. C'est également le prix du carbone qu'il faudrait mettre en place pour atteindre l'objectif national de diviser par 4 les émissions de GES à horizon 2050 (Meem, 2016). La valeur tutélaire du carbone est estimée à 42,5 €/teqCO<sub>2</sub> en 2015.

Ainsi, les montants de la taxe carbone et de la valeur tutélaire du carbone sont croissants dans le temps. Par conséquent, la valeur totale du stockage de long-terme du carbone devrait augmenter chaque année proportionnellement à l'augmentation du prix du CO<sub>2</sub>. En considérant un taux de rémunération du capital stocké de 2,5 % chaque année et un taux d'actualisation de 2,5 %, la valeur actualisée en 2015 des bénéfices du stockage de long terme des écosystèmes du PCC s'élève chaque année au produit de (i) la quantité de carbone stockée sur le long-terme et (ii) la valeur actualisée du carbone l'année considérée. La valeur moyenne sur 30 ans de ces bénéfices actualisés fournit un ordre de grandeur de la valeur du stockage de carbone de long-terme, en tenant compte de la dynamique de croissance dans le temps de la valeur du carbone.

	Méthode 1 : Prix de marché		Méthode 2 : Taxe « carbone »		Méthode 3 : Valeur tutélaire	
Valeur de la tonne de CO <sub>2</sub> en 2015 (€/teqCO <sub>2</sub> )	8		14,5 puis croissant		42,5 puis croissant	
Carbone stocké sur le long-terme (teqCO <sub>2</sub> )	15 722					
Taux de rémunération du capital	2,50%					
<b>Valeur économique actualisée du carbone stocké sur le long-terme (€/an)</b>	<b>3 144</b>		<b>20 751</b>		<b>24 053</b>	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Fixation annuelle de carbone (teqCO <sub>2</sub> /an)	134	168	134	168	134	168
<b>Valeur économique de la fixation annuelle de carbone (€/an)</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>73</b>	<b>92</b>	<b>150</b>	<b>189</b>
<b>Valeur économique totale du stockage de long-terme et de la fixation annuelle de carbone (€/an)</b>	<b>3 164</b>	<b>3 170</b>	<b>20 824</b>	<b>20 843</b>	<b>24 203</b>	<b>24 242</b>

Tableau 15 : Évaluation économique des bénéfices associés au stockage de long-terme et à la fixation annuelle du carbone sur le PPC.

<sup>10</sup> Le rapport de Pascal Canfin, Alain Grandjean et Gérard Mestrallet (2016) sur le prix du carbone, fait 10 propositions opérationnelles, notamment pour introduire un corridor de prix du carbone au niveau européen sous la forme d'un prix minimum et maximum des mises aux enchères de quotas carbone pour orienter les investissements vers les solutions bas-carbone. La mission propose que le prix plancher soit compris entre 20 et 30 euros en 2020 et le prix plafond situé à 50 euros en 2020. Ces valeurs limites augmenteraient de 5 à 10 % par an afin que la valeur du prix plancher atteigne à minima 50 euros en 2030 et devraient être révisées tous les cinq ans - rythme sur lequel les engagements des États pour lutter contre le changement climatique seront également revus à la hausse.

<sup>11</sup> Ici, nous considérons ensuite qu'elle reste stable à 100 euros jusqu'en 2046.

Le Tableau 15 présente les résultats de cette estimation. Selon la méthode utilisée, la valeur économique des bénéfices associés au stockage de long-terme et à la fixation annuelle de carbone par les forêts et prairies permanentes du PPC est comprise entre 3 et 25 k€/an, l'essentiel de cette valeur provenant du carbone stocké sur le long-terme par les prairies permanentes à usage agricole. Le différentiel de valeur est donc de 1 pour 8, selon la méthode de valorisation économique utilisée. Cet écart significatif reflète la difficulté de donner une valeur en euros aux émissions de CO<sub>2</sub> compte tenu de la diversité des signaux-prix associés aux politiques climatiques en cours de mise en œuvre en France et dans le monde.

### ***Limites de l'approche***

En dehors des prairies permanentes, dont il est avéré qu'elles contribuent de façon significative au stockage de carbone, la contribution des autres sols agricoles n'est pas prise en compte. A l'inverse, les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture ne sont pas dégrévées des quantités de carbone stockées. Ainsi, les résultats présentés ne fournissent qu'un ordre de grandeur mais ne constituent pas un bilan exhaustif du carbone net stocké sur la zone.

## **2.5.4. Régulation du cycle de l'eau**

### ***a) Description du service***

L'occupation du sol sur le PPC a un effet (i) sur la capacité du sol à recharger l'aquifère (quantité) et (ii) sur la capacité du sol à filtrer et épurer l'eau lors de son transfert vers l'aquifère (qualité). Pour quantifier les bénéfices associés à ces services de recharge de l'aquifère et de purification de l'eau, une méthode consiste à estimer les bénéfices générés par les usages effectifs des volumes d'eau concernés par ces phénomènes. Ici, les seuls prélèvements effectués sur le PPC sont ceux du captage de la Ville Héllio.

Le captage de la Ville Héllio contribue à l'alimentation en eau potable des communes de Plourhan et Lantic (1 832 abonnés en 2015). En 2015, les prélèvements s'élèvent à 85 843 m<sup>3</sup>/an. Cette même année, le captage fournit 40 % du volume mis en distribution par le syndicat. Il alimente à lui seul une population estimée à 1 442 habitants.

### ***b) Évaluation économique***

L'évaluation économique consiste à estimer la valeur associée à la présence d'un volume d'eau stocké dans le sous-sol en quantité suffisante pour alimenter en eau potable les populations locales. Les bénéfices associés à ce service sont évalués en comparant la situation actuelle avec une situation dans laquelle il faudrait abandonner le captage de la Ville Héllio et faire appel à une autre ressource en eau pour l'alimentation en eau potable des communes de Plourhan et Lantic.

Ce coût évité de l'abandon du captage de la Ville Héllio correspond au surcoût pour le consommateur d'eau potable lié à l'exploitation de la ressource à laquelle il faudrait faire appel si l'état des eaux souterraines du captage de la Ville Héllio était dégradé au point de rendre son exploitation impossible pour l'AEP. Dans ce cas, le scénario le plus probable serait d'augmenter les importations d'eau en provenance du SDAEP qui a pour mission de sécuriser l'AEP des collectivités du département. Ce scénario s'est déjà réalisé par le passé, notamment lors des travaux de modernisation de la station de traitement de Ville Sault en 2013-2014, période pendant laquelle les imports d'eau du SDAEP avaient à eux seuls permis de pallier l'arrêt de la station de Ville Sault pendant 2 mois.

Le réseau d'interconnexion avec le SDAEP a été dimensionné de façon à satisfaire l'ensemble des besoins en eau potable des communes de Plourhan et Lantic, y compris en période d'étiage

(Figure 15 et Figure 16). De plus, les ressources du SDAEP permettraient aisément d'alimenter ces communes. L'eau importée provient de la prise d'eau de Saint-Barthélémy installée sur le Gouët, entre les communes de Ploufragan et La Méaugon. En 2015, la capacité installée de ce barrage s'élève à 29 000 m<sup>3</sup>/jour, soient plus de 50 fois les besoins journaliers des communes de Plourhan et Lantic, pour une autorisation de prélèvement de 62 000 m<sup>3</sup>/jour. Une nouvelle station de traitement permettant d'augmenter les prélèvements à hauteur de 38 000 m<sup>3</sup>/jour est par ailleurs en cours de construction. Sa mise en service est prévue pour 2022.



Figure 15 : Réseaux d'interconnexion du SDAEP dans les Côtes-d'Armor.

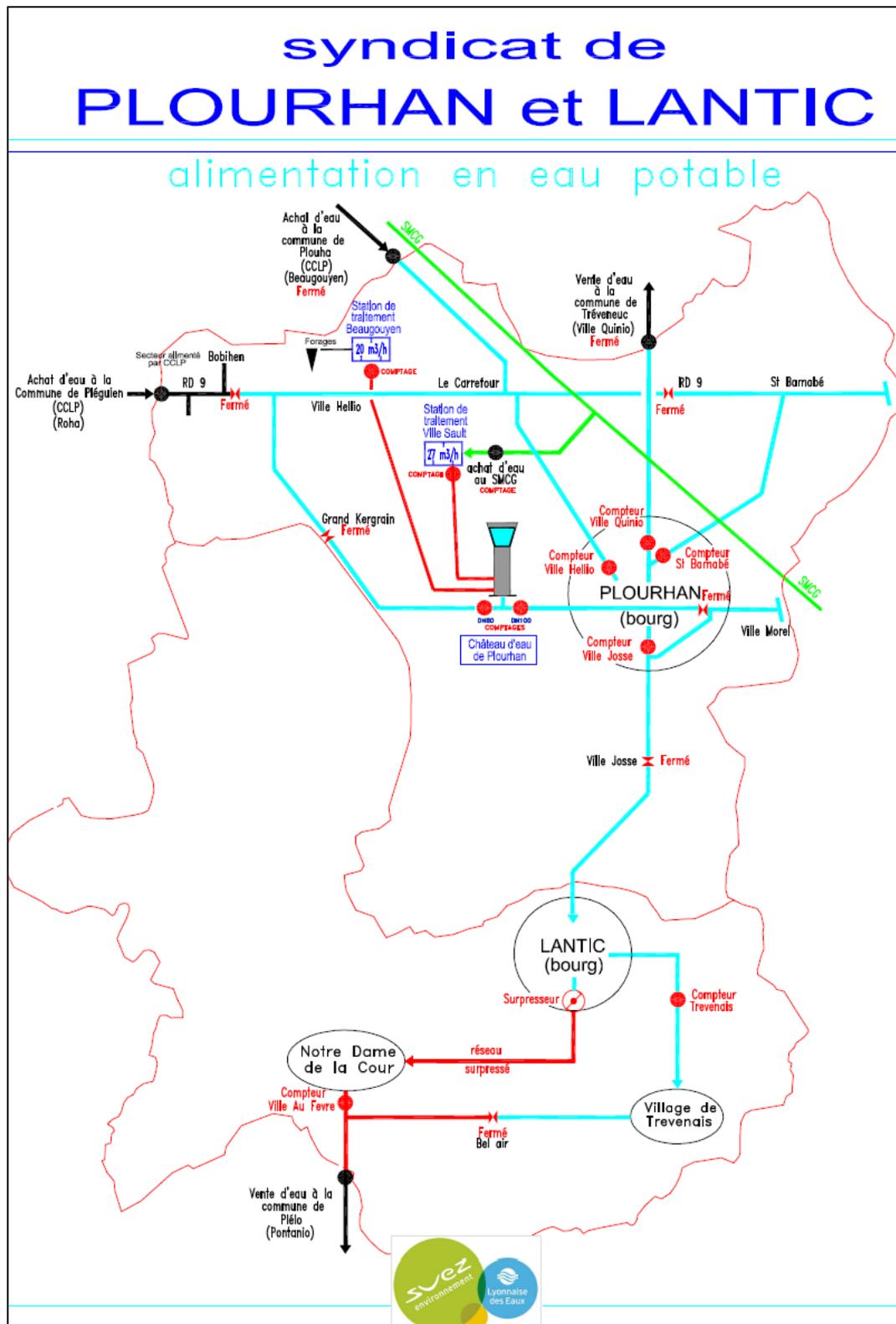


Figure 16 : Synoptique du réseau d'alimentation en eau potable du syndicat de Plourhan-Lantic. Nota : L'activité transport d'eau du Syndicat Mixte de la Côte du Goëlo (SMCG) a été reprise en 2008 par le SDAEP.

En 2015, le volume d'eau qu'il conviendrait de substituer par des imports du SDAEP s'élève à 81 555 m<sup>3</sup>/an (volume produit par la station de Ville Sault à partir des prélèvements de la Ville Hélios). La convention de gestion et d'utilisation de l'interconnexion départementale applicable à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2013 établit le tarif de vente d'eau du SDAEP au Syndicat de Plourhan-Lantic à 0,549 €TTC/m<sup>3</sup>. Une redevance est également prélevée chaque année sur les factures d'eau des usagers des collectivités adhérentes au SDAEP. Elle s'élève en 2015 à 11,60€. Cette redevance est toutefois d'ores et déjà réglée par les abonnées de Plourhan et Lantic dont une partie de l'eau potable provient actuellement du SDAEP, le volume importé du SDAEP s'élevant en 2015 à 21 769 m<sup>3</sup>. Ainsi, le montant de cette redevance ne serait pas modifié si les volumes importés augmentaient. Dans ce scénario, le coût variable des imports du SDAEP en substitution de la production de Ville Sault s'élève à 44 741 €/an. Il convient de noter que les volumes produits à Beaugouyen sont supposés inchangés.

Les coûts de production de Ville Sault sont quant à eux estimés entre 0,10 et 0,20 €/m<sup>3</sup>, compte tenu de la faible profondeur du puits et de la modernité de la station de traitement. Validés par les acteurs locaux, ces valeurs correspondent aux ratios communément utilisés dans les études économiques (Rinaudo *et al.*, 2013). Cette fourchette de valeurs pourrait être affinée à l'avenir si des données locales étaient mises à disposition du projet POLDIF. Le surcoût lié aux imports d'eau du SDAEP par rapport à la situation actuelle est ainsi estimé entre 28 000 et 37 000 €, soit entre 0,35 et 0,45 €/m<sup>3</sup>.

	Situation actuelle		Scénario abandon du captage
<b>Production</b>			
Abonnés	1832		1832
Volumes produits à Ville Sault (m <sup>3</sup> /an)	81 555		0
Volumes importés du SDAEP (m <sup>3</sup> /an)	21 769		103 324
<b>Coûts</b>			
Coûts unitaire de production à Ville Sault (€/m <sup>3</sup> )	0.1	0.2	-
Redevance versée au SDAEP (€/an/ab)	11,6		11,6
Prix d'achat au SDAEP (€/m <sup>3</sup> )	0,5486		0,5486
Coûts de production à Ville Sault (€/an)	8 156	16 311	-
<b>Coûts des imports du SDAEP (€/an)</b>			
Part fixe	21 251		21 251
Part variable	11 942		56 684
Somme (€/an)	41 349	49 505	77 935
<b>Bénéfice associé à la situation actuelle (€/an)</b>	36 586	28 430	-

Tableau 16 : Évaluation économique des bénéfices associés au service de régulation du cycle de l'eau.

Outre ce surcoût lié aux imports d'eau du SDAEP, ce scénario réduirait l'indépendance du syndicat qui serait contraint de dépendre de ressources extérieures au territoire pour son alimentation en eau potable. Or, cette perte d'autonomie n'est pas souhaitée par les élus. Elle a un coût lié au risque de défaillance du réseau (pollution de la retenue de Saint-Barthélemy, acte de malveillance, etc.) qui n'a pas été évalué dans la présente étude.

## 2.5.5. Réduction des algues vertes

### a) Description du service

Les côtes de la baie de Saint-Brieuc sont impactées depuis plusieurs décennies par la prolifération de macroalgues vertes qui ont de multiples effets négatifs sur la santé, la biodiversité, le tourisme ou encore la conchyliculture. Leur putréfaction génère une forte gêne olfactive et leur inhalation peut être toxique pour les êtres vivants (Colas, 2014). Pour pallier ces effets néfastes, les communes littorales sont régulièrement contraintes de ramasser et de traiter les algues échouées sur leurs plages.

Divers facteurs favorisent le développement des algues vertes dans la baie de Saint-Brieuc et dans l'anse de Binic, notamment la faible profondeur des eaux, la présence d'embouchures de rivières chargées en éléments nutritifs, la faible turbidité et le confinement des eaux littorales qui sont liés à la géomorphologie du littoral et à la nature des courants marins. En Bretagne, les experts s'accordent sur le rôle prédominant des apports excessifs d'azote pour expliquer ce bloom algal (CGEDD et CGAAER, 2012 ; Berger *et al.*, 2015). Ces apports d'azote proviennent essentiellement de l'agriculture. L'azote présent sur les parcelles agricoles s'infiltré dans les sols et les eaux souterraines ou ruisselle vers les cours d'eau qui se déversent dans la mer. Dans le bassin Loire-Bretagne, 90 % de l'azote présent dans les cours d'eau serait d'origine agricole (Colas, 2014). Ainsi, la réduction des apports azotés liés aux activités agricoles et à l'élevage constitue le levier d'action pour limiter la prolifération des algues vertes sur les côtes. L'État en a fait un objectif central de ses plans gouvernementaux de lutte contre les algues vertes (2010-2015 puis 2017-2021).

Dans la baie de Saint-Brieuc, une charte de territoire à basses fuites d'azote a ainsi été signée en 2011 dans le cadre du plan gouvernemental de lutte contre les algues vertes<sup>12</sup>. Cette charte couvre quatre bassins versants dont le bassin versant de *l'Ic et des ruisseaux côtiers associés* sur lequel se situe le PPC du captage de la Ville Héllio. Elle établit un programme d'actions qui prévoit notamment de limiter les excédents de fertilisation, d'améliorer l'efficacité du couvert hivernal des parcelles agricoles et d'augmenter les surfaces en prairies permanentes (Syndicat Mixte du Pays de Saint-Brieuc, 2011). L'objectif de cette charte était de réduire de 30 % à l'horizon 2015 les flux annuels d'azote sur le bassin versant de la baie de Saint-Brieuc. Enfin, le territoire sur lequel est situé le PPC s'inscrit bien dans le périmètre géographique couvert par cette charte : il contribue plus spécifiquement à la prolifération des algues vertes sur les communes d'Étables-sur-Mer et de Binic où se situe l'embouchure de l'Ic.

Le Centre d'Étude et de Valorisation des Algues (CEVA) réalise le suivi surfacique des proliférations par des moyens aériens (7 évaluations mensuelles d'avril à octobre, chaque année depuis 2002) et en complément recense chaque année le volume d'algues vertes ramassé sur les plages par les collectivités locales. La Figure 17 présente les résultats de cette enquête auprès des communes de Binic et d'Étables-sur-Mer depuis 1997. En 2015, le volume ramassé par les deux communes s'élève ainsi à 402 m<sup>3</sup>, contre 1 345 m<sup>3</sup> en moyenne depuis 1997 (Figure 18). Seules les algues présentes en andain de haut de plage sont effectivement ramassées par les communes, ce qui représente une faible part de l'ensemble des volumes échoués. Ainsi, les volumes d'algues ramassés par commune ne sont pas un indicateur de la production locale des baies mais plutôt des nuisances ressenties localement et des efforts consentis par les communes, les opérations de ramassage étant liées à des décisions des municipalités et à leurs contraintes

---

<sup>12</sup> L'ensemble des documents relatif à la charte de territoire 2011-2015 sont consultables ici : <http://www.pays-de-saintbrieuc.org/c/214/p/513270528861e57c1fa0e16a975075d3/Pays-de-Saint-Brieuc-projet-territorial-algues-vertes-baie-de-saint-brieuc.html>

financières ou techniques ainsi qu'aux lieux et dates des échouages « ramassables ». À titre d'illustration, le CEVA estime que les surfaces ramassées représentent approximativement 1 à 5 % des surfaces échouées dans la baie de Saint-Brieuc.

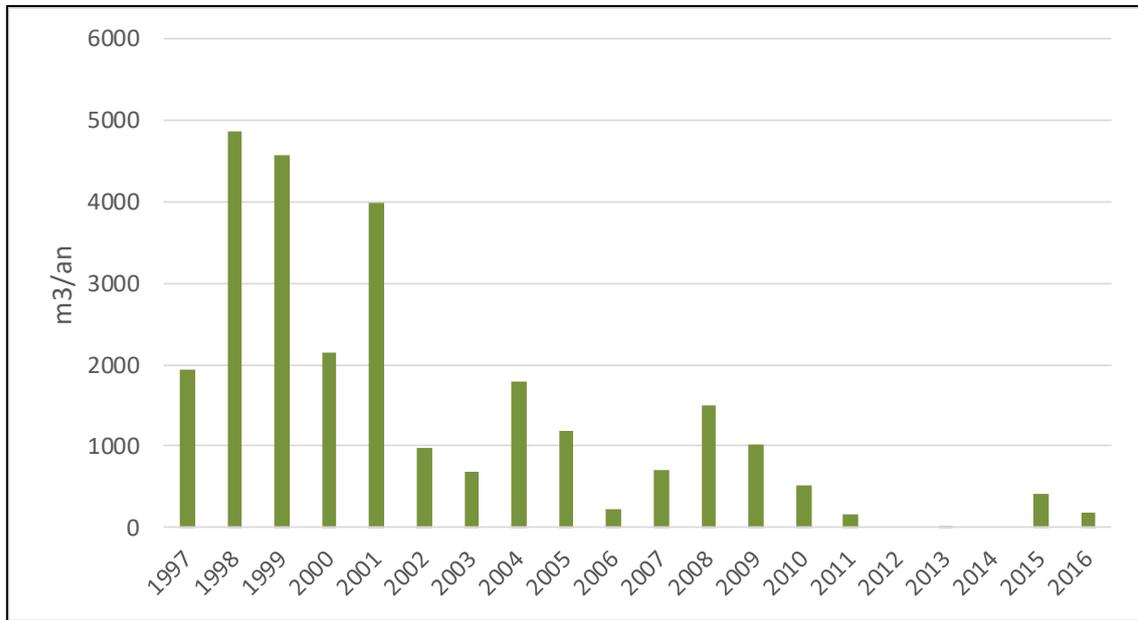


Figure 17 : Évolution du volume d'algues vertes ramassé sur les côtes de Binic et d'Étables-sur-Mer entre 1997 et 2016 (source : CEVA sur la base des déclarations des communes).

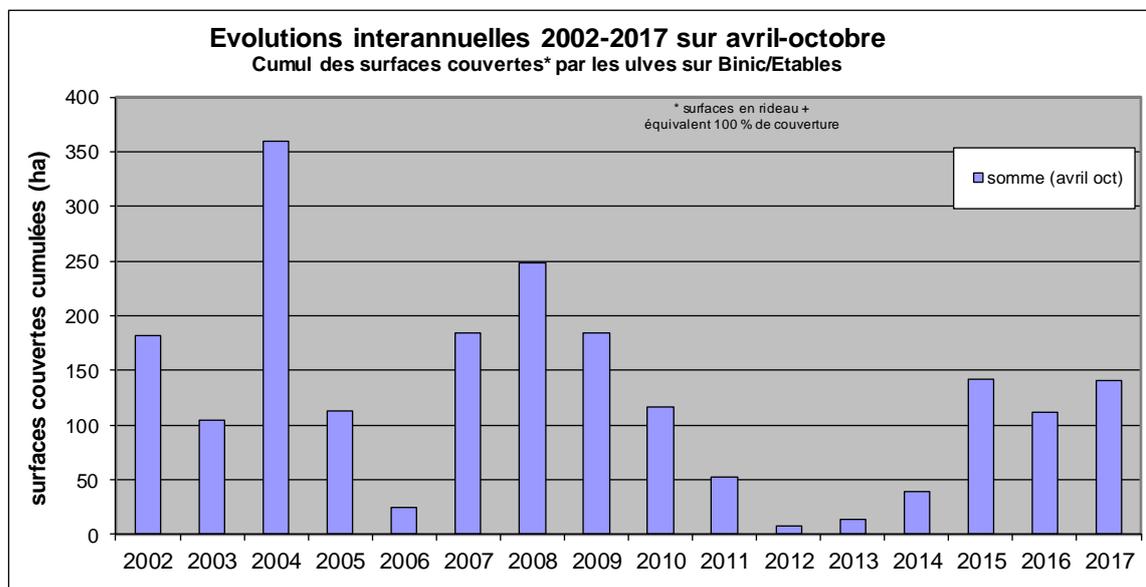


Figure 18 : Évolution des surfaces d'algues vertes échouées sur les côtes de Binic et d'Étables-sur-Mer entre 2002 et 2017 (source : CEVA sur la base de photo-interprétations).

La comparaison des actions mises en œuvre sur le captage de la Ville Hélios (Tableau 3 et Tableau 4) avec les objectifs territoriaux stratégiques de la charte de territoire sur la baie de Saint-Brieuc montrent que les contraintes associées au PPC pour la réduction des fuites d'azote sont plus restrictives que les prescriptions de la charte (Tableau 17), ce que confirment les experts locaux. De par leur impact sur la réduction des excédents azotés à la parcelle, les pratiques

agricoles actuellement mises en œuvre sur le PPC contribuent donc à la réduction des algues vertes dans la baie de Saint-Brieuc.

Prescriptions de la charte de territoire à basses fuites d'azote	Actions d'ores et déjà mises en œuvre sur le PPC de la Ville Héllio
Augmentation de la surface en cultures fourragères pérennes à hauteur de 8 à 10 % de la SAU en 2027	Maintien de surfaces en herbe sur 69 % de la SAU du PPC
Réduction de la sole en céréales d'hiver à 15% de la sole en 2027	Cultures annuelles autorisées avec maintien d'un couvert végétal en hiver, CIPAN obligatoire pour les cultures pérennes
Conversion à l'agriculture biologique de 3% de la SAU (1 500 ha sur 55 500 ha de SAU)	Conversion à l'agriculture biologique de 18 % de la SAU du PPC depuis 2008
Conservation de 100 % de la surface existante en prairie permanentes et prairies temporaires	Extension significative de la surface en prairie permanentes et prairies temporaires

Tableau 17 : Exemples de la comparaison des prescriptions de la charte de territoire à basses fuites d'azote dans la baie de Saint-Brieuc et des contraintes associées au PPC de la Ville Héllio.

### b) Évaluation économique

L'évaluation économique des bénéfices associés au service de réduction des algues vertes fourni par le PPC mobilise la méthode des coûts évités qui consiste à considérer que l'occupation du sol sur le PPC permet de réduire la prolifération des algues vertes sur les côtes et d'éviter ainsi une partie des coûts de ramassage et de traitement pour les collectivités. Le CEVA estime à près de 100 €/m<sup>3</sup> le coût moyen de ramassage et de traitement des algues vertes par les collectivités territoriales de la baie de Saint Brieuc.

De plus, les simulations réalisées conjointement par le CEVA et IFREMER montrent que dans le bassin versant de la baie de Saint-Brieuc, une réduction des apports azotés annuels de 30 % génèrerait une réduction de biomasse de l'ordre de 40 % sur les côtes de la baie de Saint-Brieuc en volume annuel (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2011). Par extension, on suppose qu'il existe (i) un lien de causalité entre le contenu des actions de gestion promues par la charte de territoire et ses objectifs de résultat, et (ii) une relation linéaire entre les excédents d'azote à la parcelle et le développement des macroalgues sur le littoral. Ces hypothèses doivent toutefois être interprétées avec précaution. En effet, les outils de pilotage et de suivi actuellement disponibles ne permettent pas de démontrer que les actions de gestion préconisées dans la charte, bien qu'elles s'inscrivent dans une dynamique de diminution des flux d'azote, réduiraient effectivement les flux d'azote de 30 % à l'exutoire sur l'ensemble du bassin versant (Berger *et al.*, 2015). Cette incertitude a été mise en avant par le Comité scientifique de lutte contre les algues vertes et l'a conduit à fournir un avis nuancé sur plusieurs territoires, y compris la baie de Saint-Brieuc (Conseil scientifique algues vertes, 2011). Plus globalement, la littérature sur la problématique des algues vertes fait état de nombreux verrous scientifiques devant encore être levés pour caractériser finement la complexité des liens entre activité agricoles (excédents d'azote, mais aussi systèmes de cultures, pratiques agricoles, etc.), qualité des eaux et intensité des échouages (AELB, 2011 ; Berger *et al.*, 2015). L'ensemble de ces éléments invitent à considérer les estimations réalisées dans le cadre de ce travail comme des ordres de grandeurs.

En 2015, la SAU du PPC (70 ha) ne représente que 0,7 % de l'ensemble de la SAU du bassin versant de l'Ic (Occupation des sols 2012/2015 – PETR du Pays de Saint-Brieuc – 2017)<sup>13</sup>. Ramenée au prorata de sa SAU, la contribution du PPC au volume d'algues vertes qui serait ramassé sur le littoral des communes d'Étables-sur-Mer et de Binic si les prescriptions de la DUP du PPC n'étaient pas respectées est estimé à 3 m<sup>3</sup> en 2015 et à 10 m<sup>3</sup> en moyenne sur la période 1997-2016. Si l'on suppose que la réduction de 40 % de la biomasse produite génère 40 % de ramassage en moins, alors la réduction du volume d'algues vertes ramassées induite par le respect des contraintes s'élève à 40 % de ce volume, soit 1,2 m<sup>3</sup> en 2015 et 4 m<sup>3</sup> en moyenne sur la période 1997-2016. Le coût évité de ramassage et de traitement est estimé entre 119 € et 397 € selon la période de référence considérée. Ce coût est relativement faible mais il ne représente qu'une petite partie du coût économique des désagréments causés par les algues vertes (dégradation de l'image du littoral, baisse de l'activité touristique, impacts sanitaires, etc.). En l'absence de données économiques plus exhaustives, il constitue la fourchette basse de la valeur économique associée à la réduction des algues vertes. Des approches par consentement à payer donneraient certainement des montants supérieurs.

	2015	1997-2016
Volume d'algues ramassé à Binic et Étables-sur-Mer en 2015 (m <sup>3</sup> /an)	402	1 345
Part de la SAU du PPC dans la SAU du bassin versant	0,7 %	
Contribution du PPC aux volumes d'algues ramassés (m <sup>3</sup> /an)	2,97	9,93
Réduction des volumes d'algues vertes induite par la charte	40 %	
Réduction des volumes d'algues vertes induite par le respect de la DUP sur le PPC (m <sup>3</sup> /an)	1,19	3,97
Coût du ramassage et du traitement des algues vertes (€/m <sup>3</sup> )	100	100
<b>Coût évité du ramassage et du traitement des algues vertes lié au PPC (€/an)</b>	<b>119</b>	<b>397</b>

Tableau 18 : Évaluation économique du bénéfice économique associé à la réduction des algues vertes sur le littoral.

## 2.5.6. Chasse

### a) Description du service

L'activité de chasse est peu intense sur le territoire du PPC. Selon la Société de Chasse Communale de Plourhan, la chasse est essentiellement pratiquée sur les espaces boisés, notamment le Bois du Pavillon qui constitue une réserve de chasse.

Les chasseurs chassent essentiellement le faisane, la perdrix et la bécasse. Des battues au chevreuil sont également organisées deux fois par an. La Société de Chasse Communale de Plourhan compte 43 adhérents. Le territoire de chasse couvre un périmètre d'environ 700 ha, dont seuls 20 ha sont situés sur la commune de Plourhan. Il convient de noter que la chasse est interdite entre le 28 février et le 1<sup>er</sup> juin. Par ailleurs, il n'y a pas de chasse privée, seuls les sociétaires y pratiquent la chasse.

<sup>13</sup> Les données relatives à l'occupation des sols (couverture et usage des sols) en 2015 sur les périmètres du ScoT du pays de Saint-Brieuc et du SAGE de la Baie de Saint-Brieuc ont été produites à partir de photo-interprétations assistées par ordinateur. Elles ont été mises à disposition du BRGM par le Pôle d'Équilibre Territorial et Rural du Pays de Saint-Brieuc.

Enfin, la chasse récréative possède également une visée sociétale puisqu'elle contribue à équilibrer les populations et les espèces.

### **b) Évaluation économique**

La valeur marchande des bénéfices associés au service récréatif de chasse peut être estimée à hauteur des dépenses consenties par les chasseurs pour exercer la chasse.

Les dépenses des chasseurs relèvent de l'achat de diverses cartes de chasses (nationale, départementale et locale). Les chasseurs sont également redevables d'une taxe d'abattage dont le montant varie selon le type de gibier. De plus, ils investissent dans un équipement dont le coût annuel inclut l'amortissement et l'entretien du fusil, les cartouches, les protections et le chien. Enfin, les chasseurs dépensent peu sur place lors de leurs journées de chasse car elles se pratiquent à la demi-journée ou éventuellement à la journée avec l'apport d'un pique-nique depuis son domicile.

Une étude récente portant sur l'impact économique, social, culturel et environnemental de la filière chasse en France a montré qu'un chasseur dépense en moyenne 2 168 € par saison de chasse dans le département des Côtes d'Armor (BIPE, 2015). La Société de Chasse des Côtes d'Armor estime que les dépenses des adhérents pratiquant sur le PPC sont inférieures d'environ 30% à ces dépenses moyennes car il n'y a pas de chasse privée.

Ainsi les bénéfices associés à la pratique de la chasse sont estimés à environ 2 000 €/an sur le PPC.

	<b>Chasse</b>
Surface pratiquée sur le territoire de la Société de Chasse Communale de Plourhan (ha)	700
Surface pratiquée sur le PPC (ha)	20
Part de la surface pratiquée par les Sociétés de Chasse incluse dans le PPC (%)	3%
Nombre de chasseurs	43
Dépense moyenne (€/chasseur/saison)	1 518
Dépense moyenne (€/an)	65 257
<b>Valeur économique associée à l'activité de chasse sur le PPC (€/an)</b>	<b>1 864</b>

*Tableau 19 : Synthèse des bénéfices économiques associés à la chasse.*

## **2.5.7. Cyclisme**

### **a) Description du service**

Deux sentiers de VTT traversent le PCC au départ du lieu-dit La Ville Héllio en remontant vers le nord. Le linéaire de route pratiqué est de 1,3 km. La fréquentation sur ces sentiers a été comptabilisée à l'aide d'un éco-compteur VTT positionné sur la commune de Lantic. Sur la période du 5 novembre 2014 au 1<sup>er</sup> juin 2017, 10 232 VTT ont été recensés par l'éco-compteur, ce qui représente 11 VTT par jour en moyenne, avec des pics de fréquentation les samedis et dimanches.

Selon les services de la mairie de Plourhan :

- la fréquentation est relativement similaire sur la station de Lantic et dans le PPC car les cyclistes qui parcourent ces deux sentiers réalisent le circuit dans sa totalité ;

- il s'agit d'une pratique de loisirs d'excursion à la journée, au départ de son domicile (sans hébergement) ce qui est conforme à l'existence de pics de fréquentation en fin de semaine.

### **b) Évaluation économique**

La valeur marchande des bénéfices associés au cyclisme récréatif peut être estimée à hauteur des dépenses consenties par les cyclistes pour pratiquer le VTT.

Les dépenses moyennes des cyclistes sont estimées à 0,15 €/km parcouru en France (FNAUT, 2013 à partir de données de l'INSEE sur les dépenses de consommation des ménages).

	<b>Cyclisme</b>
Fréquentation de VTT estimée sur le PCC en 2015	4 015
Dépense moyenne des cyclistes (€ <sub>2015</sub> /km)	0,15
Linéaire de sentier VTT sur le PPC (km)	1,3
<b>Dépense moyenne des cyclistes pratiquant le VTT sur le PCC (€/an)</b>	<b>783</b>

*Tableau 20 : Bénéfices marchands associés à la pratique du VTT sur le PPC.*

Selon ces estimations, la valeur marchande des bénéfices associés au service récréatif de cyclisme est de 783 €/an.

### **2.5.8. Autres services non évalués**

#### **a) Protection contre les inondations**

La commune de Plourhan n'est pas exposée au risque d'inondations (Préfecture des Côtes-d'Armor, 2015). De plus, l'occupation actuelle du sol sur le PPC ne lui confère pas un rôle important dans la rétention des eaux de pluie et la protection contre les inondations.

#### **b) Pêche**

La pêche n'est pas pratiquée sur le PPC. Le ruisseau présent sur le secteur provient des eaux de pluie.

#### **c) Promenade**

La marche récréative est pratiquée sur la quasi-totalité des routes du PPC. Toutefois, aucune mesure de fréquentation n'a été réalisée.

#### **d) Équitation**

L'équitation est également pratiquée sur les chemins du PPC. Aucune mesure de fréquentation n'a toutefois pu être mobilisée.

### **2.5.9. Synthèse des bénéfices**

Sept services écosystémiques fournis par le PPC de la Ville Hélios ont été évalués. En 2015, les bénéfices associés à ces services sont estimés entre 130 000 € et 160 000 €, soit entre 1 300 € et 1 600 € par hectare de PPC ou encore entre 2,6 et 3,2 € par m<sup>3</sup> d'eau prélevé, selon les méthodes d'évaluation économique et les hypothèses utilisées. Les plus gros contributeurs sont

les services d'approvisionnement, notamment la production agricole, qui représentent en moyenne environ 66 % de la valeur économique des services écosystémiques fournis par la zone, suivis des services de régulation (32 %) et des services récréatifs (2 %). Ainsi, une évaluation basée sur les seuls bénéfices associés au cycle de l'eau aurait amené à estimer les bénéfices fournis par les écosystèmes compatibles avec la reconquête de la qualité de l'eau à moins d'un quart (22 %) des bénéfices totaux mis en évidence par une démarche globale prenant en compte la diversité des co-bénéfices environnementaux à l'échelle d'un territoire.

Il convient de noter que les valeurs présentées dans ce document sont des ordres de grandeur soumis à de nombreuses incertitudes. En particulier, l'agrégation des bénéfices ne prend pas en compte l'importance relative de chaque service pour la société ni les limites de certaines méthodes ou le risque de double comptage. De plus, certains services récréatifs n'ont pas été estimés, faute de données de fréquentation. Pour finir, les *disservices*, autrement dit les impacts environnementaux associés à certaines pratiques, notamment agricoles, ne sont pas pris en compte dans cette analyse.

	Valeur économique (€/an)		Valeur économique surfacique moyenne sur le PPC (€/ha/an)		Contribution moyenne (%)
	Min	Max	Min	Max	
<b>Services d'approvisionnement</b>	<b>96 267</b>	<b>96 375</b>	<b>953</b>	<b>954</b>	<b>66 %</b>
Production de bois	126	234	1	2	0 %
Production agricole	96 141		952		66 %
<b>Services de régulation</b>	<b>31 713</b>	<b>61 224</b>	<b>314</b>	<b>606</b>	<b>32 %</b>
Stockage et séquestration du carbone	3 164	24 242	31	240	9 %
Régulation du cycle de l'eau	28 430	36 586	281	362	22 %
Réduction des algues vertes	119	397	1	4	0 %
<b>Services culturels et récréatifs</b>	<b>2 647</b>		<b>26</b>		<b>2 %</b>
Chasse	1 864		18		1 %
Vélo	783		8		1 %
Promenade	n.d		n.d		-
Équitation	n.d		n.d		-
<b>Total</b>	<b>130 627</b>	<b>160 246</b>	<b>1 293</b>	<b>1 587</b>	<b>100 %</b>

Tableau 21 : Synthèse de la valeur économique des bénéfices fournis par sept services écosystémiques fournis par le PPC de la Ville Hélios.

La Figure 19 présente l'évolution de la valeur économique des bénéfices fournis par ces sept services écosystémiques avant et après la mise en œuvre d'actions de reconquête de la qualité de l'eau sur le PPC. La situation « avant » correspond à la situation qui prévalait en 1991 et la situation « après » correspond à l'année 2015. Chaque service est valorisé en €<sub>2015</sub>, en considérant les prix (tonne de CO<sub>2</sub>, stère de bois de chauffage, etc.) et les usages (fréquentation du circuit VTT, mortalité des arbres, OTEX des exploitants agricoles, etc.) de 2015. Seule l'occupation du sol est considérée évoluer entre 1991 et 2015. Les résultats montrent qu'outre le vélo, dont le linéaire et la fréquentation ne sont pas supposés avoir évolué avec la mise en œuvre des actions de reconquête, et la production agricole dont la valeur économique a diminué de 36 % du fait de la moindre valeur ajoutée générée par les prairies par rapport aux grandes

cultures et aux légumes majoritairement cultivés en 1991, la valeur économique des cinq autres services écosystémiques a considérablement augmenté avec la reconquête. En particulier, la valeur des bénéfices associés à la séquestration et au stockage de carbone a triplé sur la période.

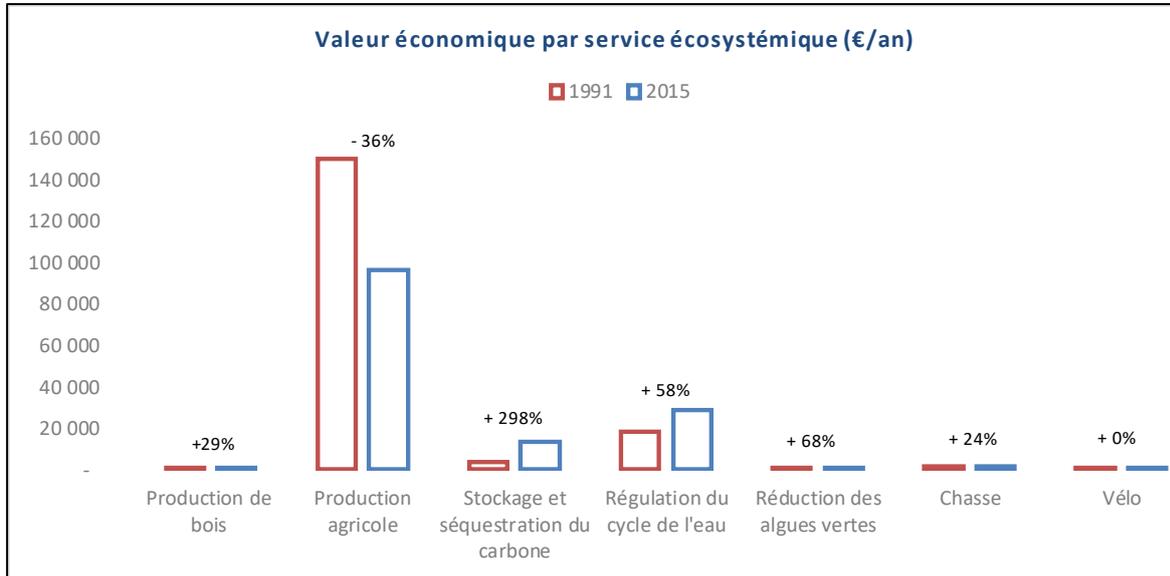


Figure 19 : Évolution de la valeur économique par service écosystémique entre 1991 et 2015.

## 2.6. SYNTHÈSE

La trajectoire d'évolution historique du territoire de Plourhan peut se décomposer en deux principales phases. Après une phase de *Laisser-faire* de plus de vingt ans (1968-1991), une phase de reconquête de la qualité de l'eau se met progressivement en place en 1992, accompagnée de quelques actions curatives. Sur la période 1992-2007, les coûts de reconquête sont relativement faibles (de 4 à 7 k€/an) et la concentration en nitrates continue d'augmenter. À partir de 2008, les coûts des actions de reconquête sont multipliés par dix pour attendre 46 k€/an en moyenne (456 €/ha/an, soit 0,71 €/m<sup>3</sup> prélevé en moyenne), et la concentration en nitrates commence à diminuer.

D'après les simulations réalisées avec le modèle global BICHE, le maintien des pratiques agricoles actuelles devrait permettre de reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage : les concentrations en nitrates devraient passer sous le seuil des 50 mg/L autour de 2025. Le coût est estimé à 28 k€/an en moyenne, soit 277 €/ha/an.

Les écosystèmes présents sur le PPC en 2015 permettent de générer une diversité de services écosystémiques sur le territoire de Plourhan. Sept d'entre eux ont été évalués monétairement. On estime les bénéfices associés à ces services entre 130 000 € et 160 000 €, soit entre 1 300 € et 1 600 € par hectare de PPC ou entre 1,5 et 1,9 €/m<sup>3</sup> d'eau prélevé. Les plus gros contributeurs sont les services d'approvisionnement, notamment la production agricole, qui représentent en moyenne environ 66 % de la valeur économique des services écosystémiques fournis par la zone, suivis des services de régulation (32 %) et des services récréatifs (2 %). La comparaison du flux de services écosystémiques entre l'occupation du sol 1991 et 2015 montre que la valeur de la production agricole a diminué de 36% du fait de la moindre valeur ajoutée générée par les prairies par rapport aux grandes cultures et aux légumes majoritairement cultivés en 1991, mais que la valeur économique de cinq services a considérablement augmenté du fait de la mise en œuvre d'actions de reconquête. En particulier, la valeur des bénéfices associés à la régulation du climat a triplé sur la période.

Alors que la reconquête de la qualité des eaux souterraines peut être difficile à justifier auprès des acteurs socio-économiques, puisqu'elle implique des coûts immédiats pour des bénéfices futurs parfois incertains, ces résultats illustrent que le maintien d'écosystèmes compatibles avec la reconquête de la qualité de l'eau favorise dès aujourd'hui – et garantit sur le long terme – une diversité des co-bénéfices environnementaux non négligeables à l'échelle d'un territoire.

### 3. Territoire de Pentvert

#### 3.1. DESCRIPTION DU TERRITOIRE D'ÉTUDE

Le territoire de Pentvert est situé dans la Sarthe. Il correspond à la zone de protection de l'aire d'alimentation de captage (ZPAAC) définie par l'arrêté préfectoral n° 08-6272 du 9 décembre 2008. Le territoire s'étend sur 27 km<sup>2</sup> et englobe le périmètre de l'aire d'alimentation de captage de 9 km<sup>2</sup> qui était auparavant utilisé pour la protection du captage de Pentvert (Figure 20). L'analyse menée dans ce document s'appuie sur la délimitation de la ZPAAC de 27 km<sup>2</sup><sup>14</sup>.



Figure 20 : Délimitation de la ZPAAC de Pentvert (en rouge).

D'après le Registre Parcellaire Graphique (RPG) de 2016, 2419 ha agricoles sont situés sur le territoire. 312 ilots agricoles sont concernés (Figure 21), appartenant à 80 exploitations agricoles en partie situées sur le territoire (25 % de leur SAU en moyenne est située sur le territoire de Pentvert). 63 exploitations occupent 99 % de la SAU du territoire de Pentvert. La SAU moyenne de ces exploitations est de 122 ha, avec une variation entre 0,3 et 290 ha (Figure 22).

<sup>14</sup> Au moment de la réalisation de ce projet, une troisième délimitation de l'aire d'alimentation de captage était en cours d'étude, avec une emprise de 11,5 km<sup>2</sup>. Les implications potentielles de ce changement de délimitation seront discutées dans la partie 3.5.4.

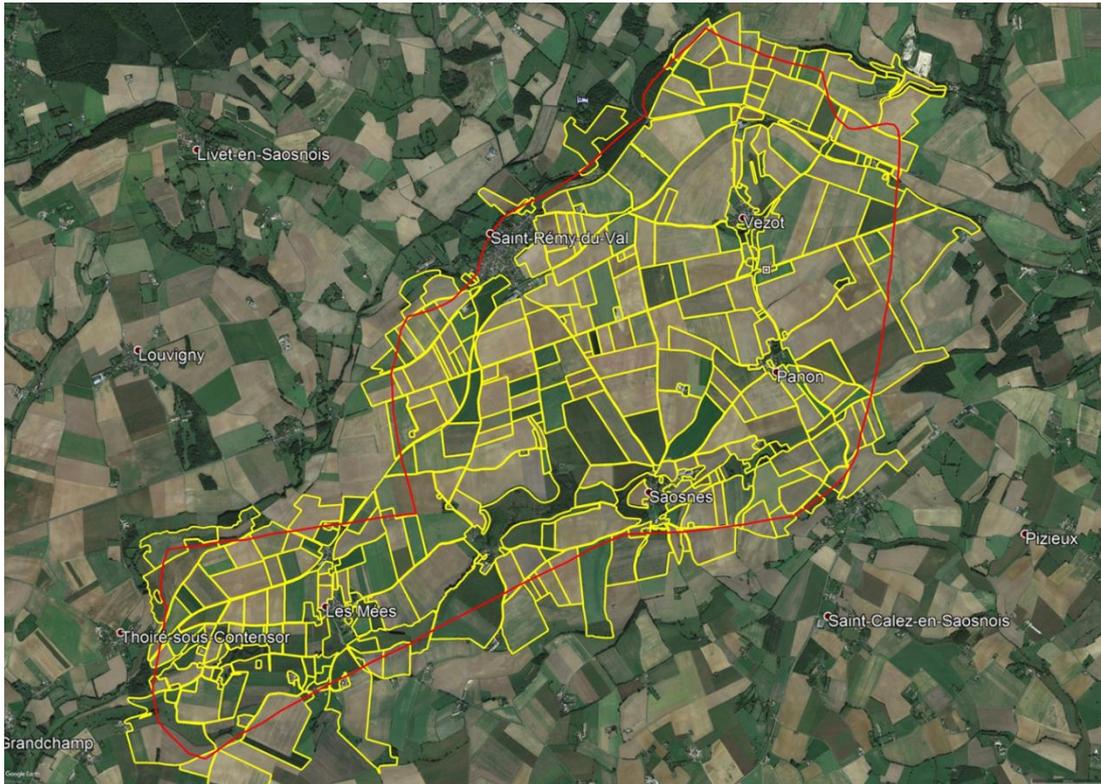


Figure 21 : Ilots agricoles présents sur la ZPAAC de Pentvert (d'après le RPG 2016).

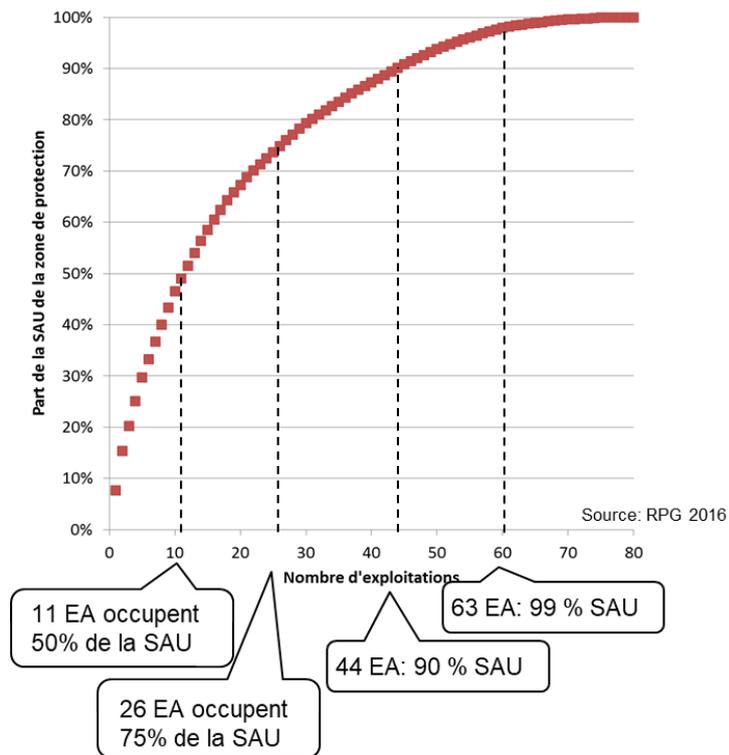


Figure 22 : Distribution du nombre d'exploitations selon leur emprise sur la ZPAAC.

En 2016, les céréales d'hiver occupent 65 % de la SAU sur le territoire de Pentvert, le colza 17 %, le maïs 7 %. Les cultures d'hiver représentent 79 % de l'assolement (Figure 23).

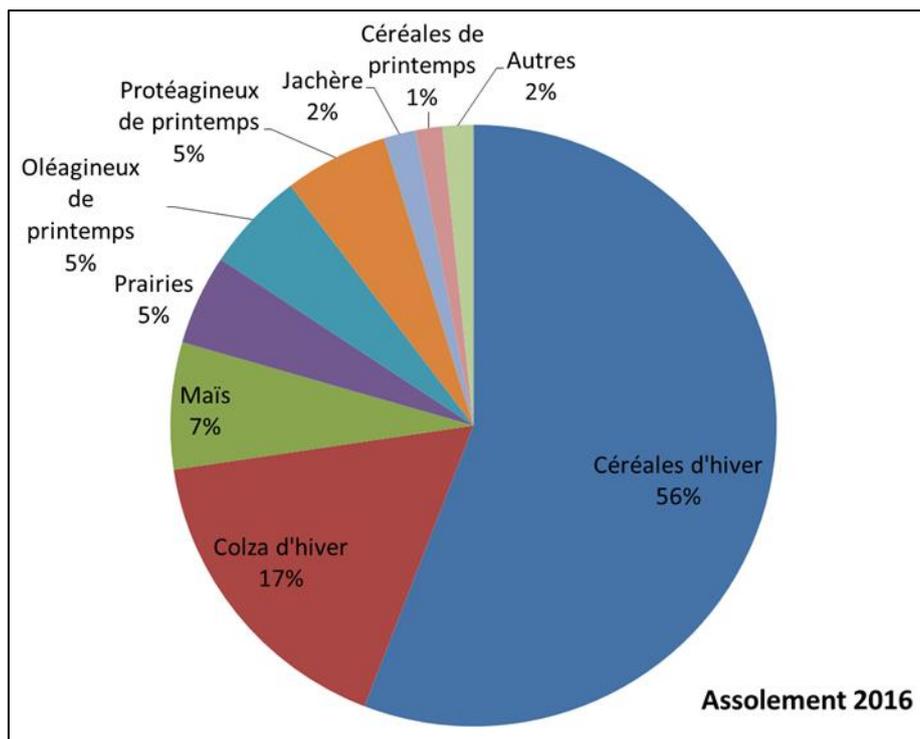


Figure 23 : Assolement 2016 du territoire de Pentvert (d'après le RPG 2016).

### 3.2. VUE D'ENSEMBLE DE LA DÉMARCHE

L'évaluation menée sur le territoire de Pentvert couvre les deux premiers volets présentés au §0. Elle s'est déroulée en trois principales étapes (Figure 24),

- le volet 1 a consisté à mener une analyse historique des actions engagées depuis la création du forage et une évaluation des coûts associés, à partir de la consultation de documents techniques et la réalisation d'entretiens début 2017 auprès d'une dizaine d'acteurs impliqués sur le territoire de Pentvert. Les résultats sont décrits dans le § 0. ;
- le volet 2 s'est déroulé en deux étapes :
  - un atelier d'une demi-journée a réuni 13 acteurs impliqués sur le territoire de Pentvert en septembre 2017 afin de (i) définir l'objectif de scénarios d'action ; (ii) proposer et décrire les actions techniques à simuler dans le cadre du projet POLDIF ; et (iii) proposer les critères potentiels à intégrer dans l'évaluation multicritères. La synthèse de cet atelier de travail et les retours des acteurs ont permis de construire cinq scénarios d'action à explorer. Les résultats sont présentés dans le § 3.4.,
  - ces scénarios d'action ont ensuite été évalués en termes de coût et d'efficacité. Deux types de scénarios d'action ont été analysés : les scénarios directement issus des résultats de l'atelier et des scénarios complémentaires exploratoires élaborés à partir des résultats de l'analyse coût-efficacité des précédents. La démarche et les résultats de cette étape sont décrits dans les parties 3.4 à 3.5.3. Un atelier de présentation et de mise en débat des résultats de l'évaluation a été organisé en avril 2019 auprès des acteurs du territoire. Les résultats sont présentés dans le § 3.5.

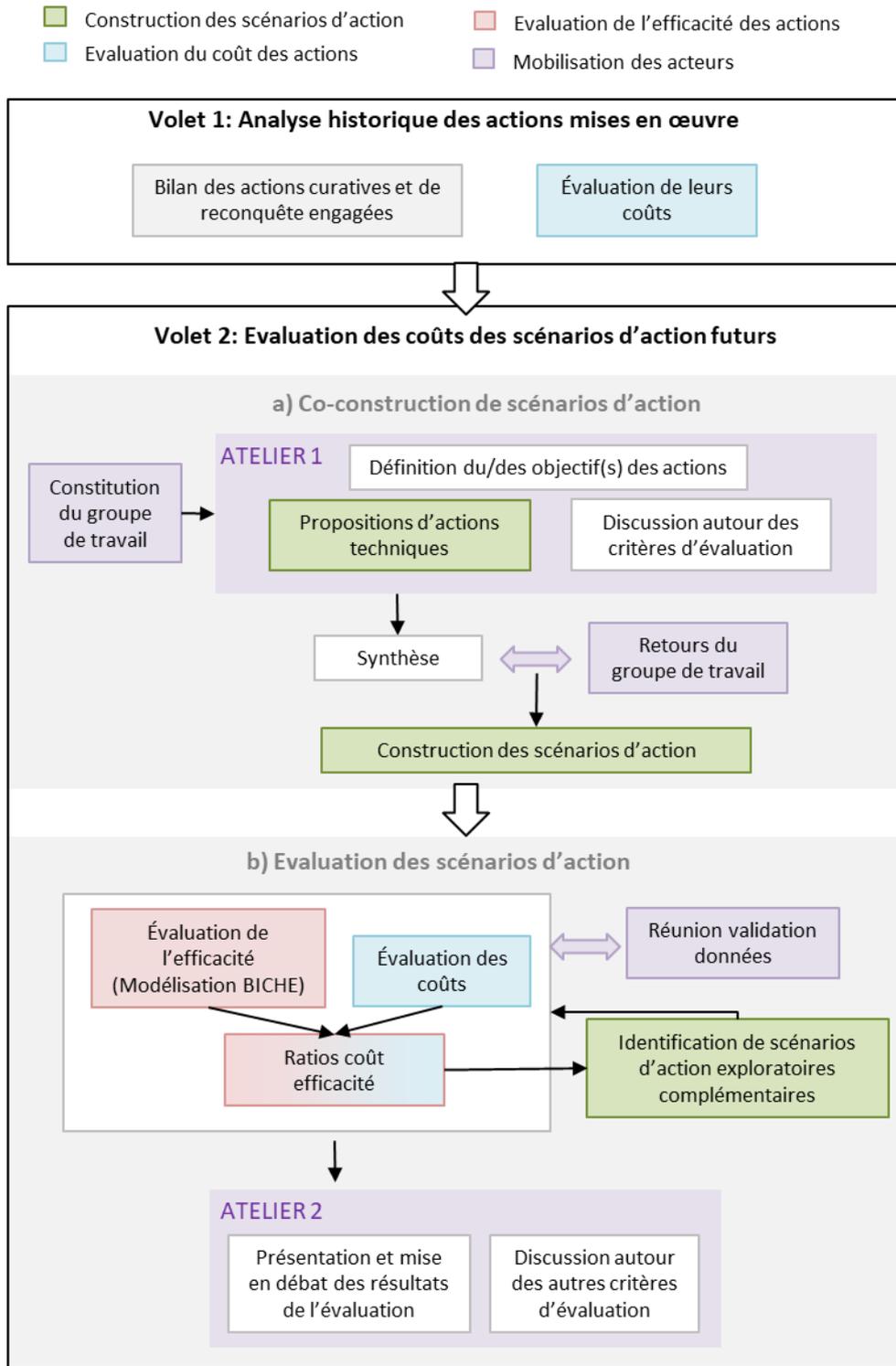


Figure 24 : Vue d'ensemble de la démarche.

### 3.3. HISTORIQUE DES ACTIONS MISES EN OEUVRE SUR LE TERRITOIRE DE PENTVERT

Depuis la mise en service du captage de Pentvert au début des années 1980, les concentrations en nitrate ont toujours été supérieures à 60 mg/L. Plusieurs types d'actions ont été mises en œuvre depuis les années 1990 afin de reconquérir la qualité de l'eau du captage et permettre la distribution d'une eau potable respectant les normes de qualité. Cette partie retrace l'historique des principaux types d'action qui ont été mis en œuvre, à partir de la consultation de documents techniques et la réalisation d'entretiens début 2017 auprès d'une dizaine d'acteurs impliqués sur le territoire de Pentvert (AELB, CD 72, DDT 72, ARS 72, CA 72, SMPEP, SIDPEP). Elle propose également une estimation des coûts de mise en œuvre de ces actions.

#### 3.3.1. Vue d'ensemble des actions

La Figure 25 positionne dans le temps les différentes actions mises en œuvre sur le territoire de Pentvert, en parallèle de l'évolution des concentrations en nitrates dans le captage depuis sa création. Trois principaux types d'actions ont été mises en œuvre :

- les actions de reconquête de la qualité de l'eau basées sur des instruments contractuels (en rouge) ;
- les actions de reconquête réglementaires (en mauve) ;
- et les actions curatives mises en œuvre par les services d'eau potable pour pouvoir continuer à distribuer une eau de bonne qualité (en bleu).

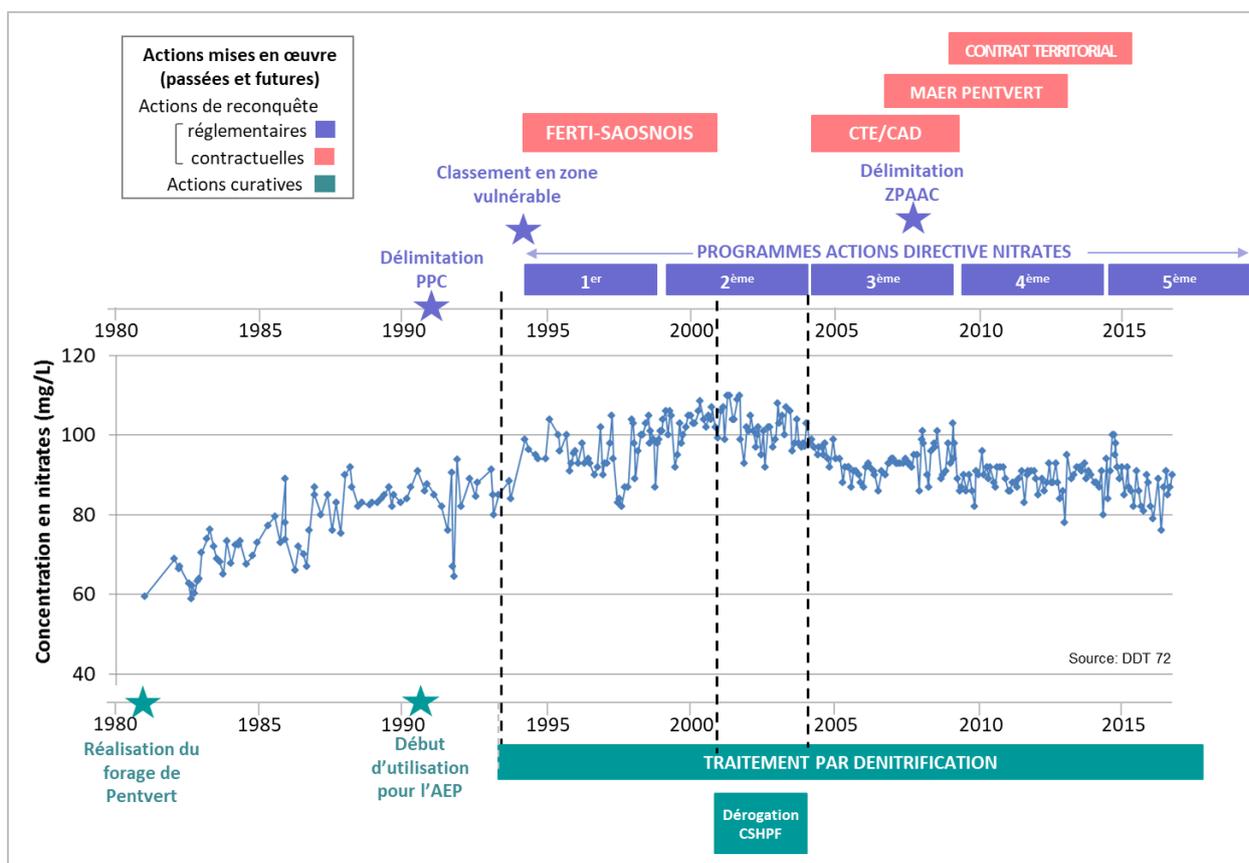


Figure 25 : Historique des actions mises en œuvre sur Pentvert, en lien avec la concentration en nitrate de l'eau du captage.

Cette représentation dans le temps permet de dégager quatre principales périodes :

- **de 1980 à 1993.** Le forage est réalisé en 1980. Son utilisation pour la production d'eau potable démarre au début des années 1990. Le périmètre de protection de captage de 9 km<sup>2</sup> est délimité en 1991. La concentration en nitrates est en augmentation sur cette période (de 60 mg/L à plus de 90 mg/L). Ce début de trajectoire s'apparente à un choix de « Laisser-faire » ;
- **de 1993 à 2001.** Une usine de traitement par dénitrification est construite en 1993. Le bassin de Pentvert est classé en zone vulnérable en 1994. Un programme d'action contractuel est mis en place : le programme Ferti-Saosnois. À partir de 1993, la trajectoire bascule d'une situation de laisser-faire à une situation avec mise en place concomitante d'actions curatives et de reconquête. La concentration continue d'augmenter et dépasse 100 mg/L en 2000 ;
- **de 2001 à 2004.** Une dérogation auprès du Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France (CSHPF) est nécessaire pour continuer à utiliser l'eau du captage pour la production d'eau potable. Les programmes d'actions contractuels sont à l'arrêt sur cette période. La courbe de concentration en nitrates s'infléchit, et devient inférieure à 100 mg/L ;
- **depuis 2004.** Plusieurs programmes contractuels sont mis en place (CTE/CAD + MAER Pentvert + Contrat territorial). Une zone de protection de l'aire d'alimentation de captage (ZPAAC) de 27 km<sup>2</sup> est définie en 2008. En parallèle, de nouvelles ressources en eau sont mobilisées par les syndicats. La concentration en nitrate diminue lentement.

### 3.3.2. Les actions de reconquête

#### a) *Les actions de reconquête de type réglementaire*

Parmi les actions de reconquête mises en place, il y a les mesures réglementaires, avec la Directive Nitrates, et les cinq programmes d'actions successifs, mis en œuvre depuis 1994.

Le 5<sup>ème</sup> programme, en vigueur depuis 2014, impose la mise en œuvre de 8 mesures sur les parcelles en zone vulnérable :

- périodes d'interdiction d'épandage ;
- capacités de stockage des effluents d'élevage suffisantes ;
- équilibre de la fertilisation azotée et seuil de déclaration à 210 kg N total/ha ;
- tenue d'un plan de fumure et d'un cahier d'épandage ;
- limitation des quantités d'effluents d'élevage épandues par exploitation (plafond de 170 kg N/ha) ;
- conditions d'épandage (cours d'eau, pente, état des sols...) ;
- couverture végétale des sols ;
- couverture végétale le long des cours d'eau et plans d'eau de plus de 10 ha.

Le 5<sup>ème</sup> programme pose également deux exigences supplémentaires en Zone d'action renforcée (ZAR), concernant les modes de destruction des couverts et un seuil de déclaration plus bas pour l'azote (190 kg N/ha au lieu de 210 kg N/ha).

Il n'existe pas à notre connaissance d'évaluation du coût de la mise en œuvre de la Directive Nitrates sur le secteur. Ce coût est principalement supporté par les agriculteurs, il y a également un coût lié à la gestion administrative de ces programmes. À défaut de disposer de l'ensemble des informations permettant d'évaluer ce coût de mise en œuvre, le coût a été évalué sur la base du coût de mise en œuvre des CIPAN sur le bassin depuis 2004 à partir

des superficies concernées (CA 72, 2015) et un coût moyen de mise en œuvre de 86 €/ha/an. Les surcoûts pour les agriculteurs liés aux CIPAN sur la période 2004-2017 sont estimés à 691 000 €, soit 50 000 €/an en moyenne (Figure 27).

### ***b) Les actions de reconquête de type contractuel***

#### **Le programme Ferti-Saosnois**

Le programme Ferti-Saosnois a été lancé en 1991. Il s'agit d'une démarche entreprise par la profession agricole, axée sur la communication auprès des agriculteurs. Le territoire concerné s'étend au-delà du bassin de Pentvert. Il englobe le bassin de la Bienne et de la Saosnette (5 430 ha de SAU et 150 exploitations agricoles). Le programme Ferti-Saosnois se concrétise principalement par trois actions:

- la publication de messages techniques ;
- la promotion des reliquats sortie hiver (prise en charge d'une à deux parcelles) ;
- la promotion des cultures pièges à nitrates (prise en charge de 50 % de poste semence pièges à nitrates, dans la limite de 20F/ha).

D'après les données détaillées de coûts annuels (CA 72, 2000), on estime que ce programme a coûté au total 825 000 € sur la période 1994-2001, dont 368 000 € sur le territoire de Pentvert soit 46 000 €/an. Ce programme a été financé par la Chambre d'agriculture et l'ANDA (78 %), le Conseil Régional (2 %), le Conseil Général (12 %), le SIPAEC (1 %), et l'agence de l'Eau Loire-Bretagne (7 %).

#### **Le Contrat Territorial**

Le contrat territorial pour la reconquête de la qualité de l'eau du captage prioritaire de Pentvert a été signé en novembre 2009 entre le Syndicat Mixte de Production d'Eau Potable du Nord Sarthe (SMPEP) et l'AELB. Il formalise le partenariat entre les signataires pour la mise en œuvre d'un programme d'actions agricoles sur 4 ans (2009-2012). Deux avenants successifs ont été signés en 2013 et en 2014 pour la poursuite du programme d'actions. Ce contrat est porté par le SMPEP, et l'animation est confiée à la Chambre d'agriculture. Il fixe comme objectif la contractualisation de 1 000 ha de SAU en Mesures Agro-Environnementales (MAE) et 0 % de sols nus l'hiver.

Trois MAE du PDRH 2007-2013 sont concernées, dont deux concernent les nitrates:

- la diversification accrue des cultures dans l'assolement accompagnée (MAER2) ;
- l'objectif est d'atteindre 1 000 ha engagés en 6 ans ;
- la limitation de fertilisation totale et minérale azotée. Il s'agit de la MAE « limitation de la fertilisation » FERTI 01 ou PL PENV GC1. L'objectif est d'atteindre 120 ha engagés en 6 ans.

Le contrat territorial a permis le financement de mesures d'accompagnement :

- la communication du projet aux agriculteurs et au grand public ;
- de l'animation pour constituer les cahiers des charges des mesures, prendre en charge le temps d'animation et concrétiser un partenariat direct entre le SMPEP et les agriculteurs du territoire concerné ;
- un appui agronomique et un suivi annuel sous forme d'enquêtes ;
- un dispositif analytique (reliquats azotés).

D'après les données issues du bilan évaluatif du contrat territorial (CA 72, 2015) :

- le coût de mise en œuvre des MAE est estimé à 314 000 € sur la période 2007-2016, soit 31 000 €/an en moyenne. Les financements sont répartis entre le CG 72 (32 %), l'AELB (29 %) et l'État (39 %) ;
- le coût des mesures d'accompagnement est estimé à 367 000 € sur la période 2009-2014, soit 62 000 €/an. Les financements sont répartis entre le SMPEP (60 %) et l'AELB (40 %).

### 3.3.3. Les actions curatives

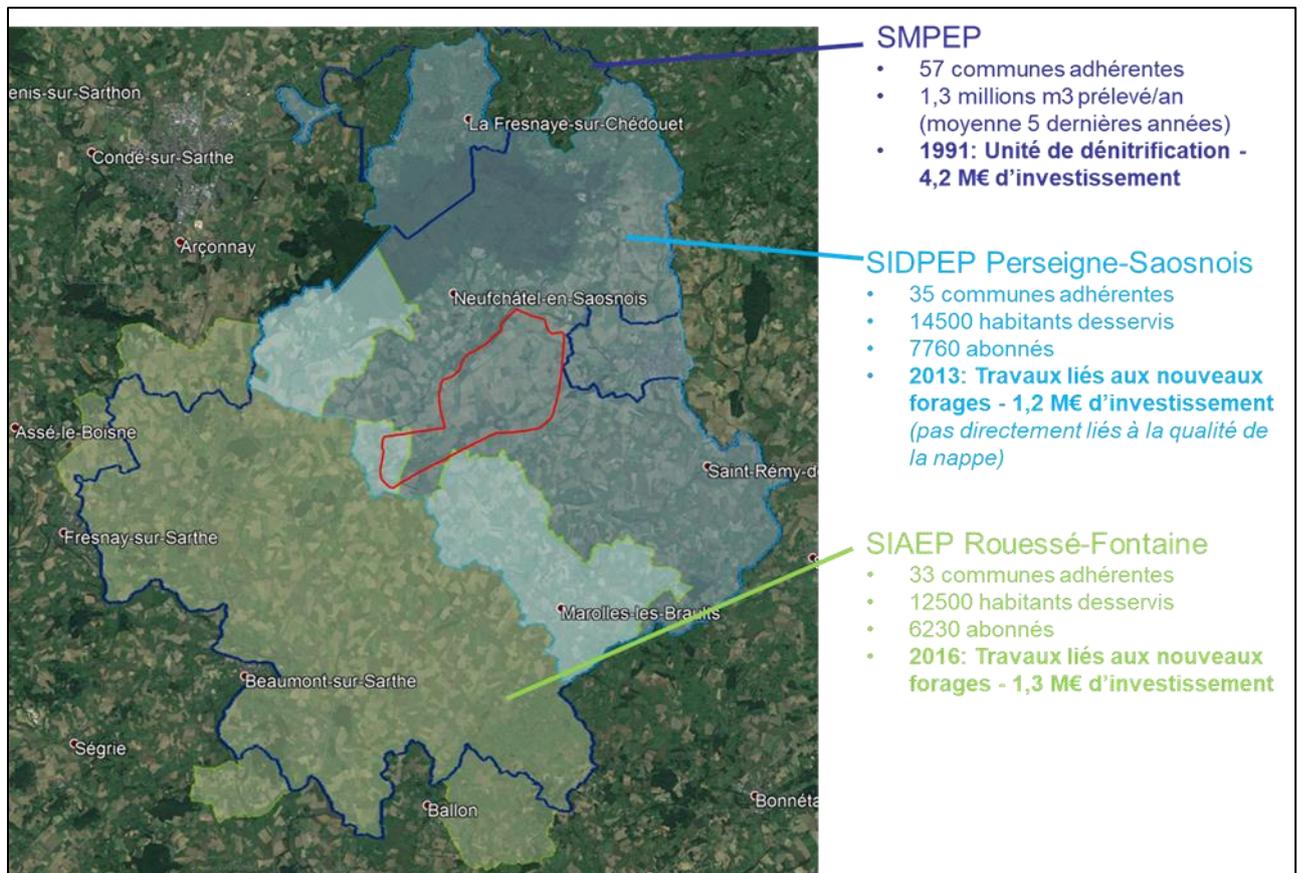


Figure 26 : Syndicats de production et de distribution de l'eau du captage de Penvert.

Plusieurs syndicats sont impliqués dans l'utilisation de l'eau du captage de Pentvert (Figure 26).

#### a) Le SMPEP

L'eau du captage de Pentvert est utilisée depuis 1990 par le Syndicat Mixte de Production d'Eau Potable du Nord Sarthe. Le SMPEP est le syndicat de production à partir du captage de Pentvert. Une station de traitement (nitrates et pesticides) a été mise en place depuis 1993/94. La station a été en grande partie (75-80 %) subventionnée par les aides de l'agence de l'eau et autres (peu de répercussions directe sur les consommateurs d'eau de Pentvert). Aujourd'hui cette usine est complètement amortie. Mais elle n'est pas en fin de durée de vie. Bien entretenue, l'usine est en très bon état. Elle peut encore durer 20 à 30 ans. Les coûts d'investissement pour le module de dénitrification sont de 19 millions de Francs 1991, soit environ 4,2 millions €.

L'eau du forage une fois dénitrifiée est nécessaire pour assurer la dilution de l'eau des autres forages exploités par les collectivités distributrices, qui eux aussi présentent des teneurs en nitrates dépassant la norme de potabilité.

**b) Le SIAEP Rouessé Fontaine**

Quatre forages profonds (65-75m de profondeur) ont été réalisés en 2016 (deux forages sur la commune de Rouessé Fontaine et deux forages sur la commune de Chérancé), ainsi qu'une usine de décarbonatation. De ce fait, l'eau du forage de Pentvert ne sera à terme que très faiblement utilisée (uniquement pour maintenir les canalisations en état de fonctionnement). Les coûts d'investissement associés à la création des deux forages de Chérancé sont estimés à 1,3 millions d'euros (pas d'information sur le coût des forages de la commune de Rouessé Fontaine); les coûts d'investissement associés à la nouvelle usine de décarbonatation sont estimés à 3,5 millions d'euros (CG 72, 2012). Ces coûts sont partiellement liés à la qualité de l'eau du captage de Pentvert. À défaut de connaître la proportion de ce coût associée à la pollution par les nitrates, celui-ci ne sera pas comptabilisé par la suite.

**c) Le SIDPEP**

Le SIDPEP est un regroupement de 5 syndicats, en lien avec le projet d'usine de décarbonatation. Les syndicats du SIDPEP dépendaient davantage historiquement du captage de Pentvert pour leur alimentation en eau potable. Deux forages ont récemment été réalisés en 2013, ce qui conduira à diminuer l'utilisation de l'eau du captage de Pentvert. Les coûts d'investissement liés aux nouveaux forages sont estimés à 1,2 millions d'euros (CG 72, 2012). Ces coûts sont partiellement liés à la qualité de l'eau du captage de Pentvert. À défaut de connaître la proportion de ce coût associée à la pollution par les nitrates, celui-ci ne sera pas comptabilisé par la suite.

**3.3.4. Synthèse**

D'après les données disponibles, le coût moyen annuel associé aux actions curatives et de reconquête liées à la pollution par les nitrates de l'eau du captage de Penvert est estimé à 466 k€/an en moyenne sur la période 2004-2017, soit 0,30 €/m<sup>3</sup> prélevé ou 160 €/ha/an. Le coût relatif aux actions de reconquête de la qualité représente 23 % de ce coût moyen annuel.

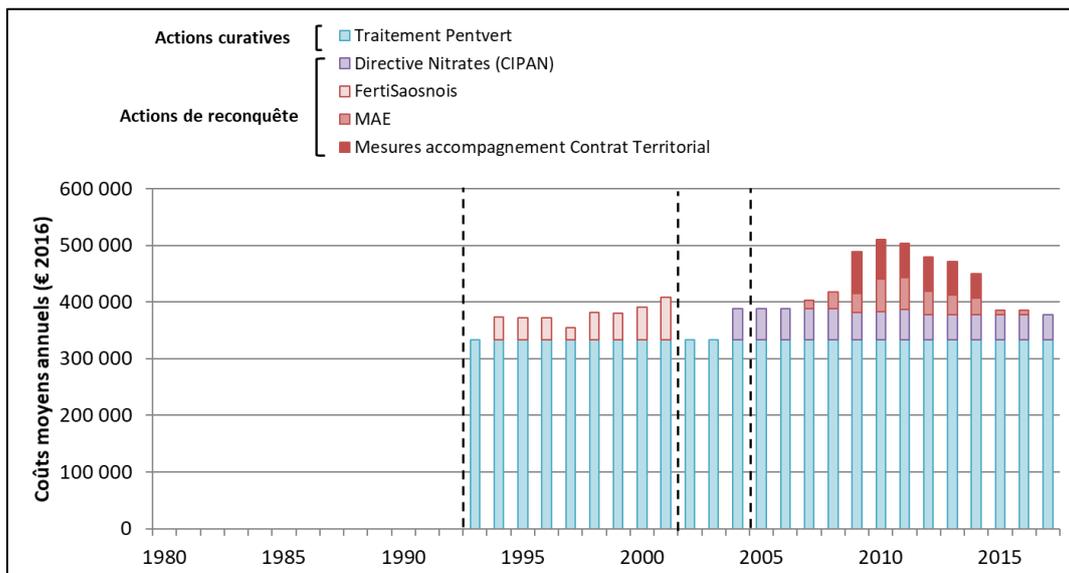


Figure 27 : Estimation des coûts annuels de mise en œuvre des actions curatives et de reconquête de la qualité de l'eau sur la période 1980-2017.

La Figure 27 et le Tableau 22 montrent la distribution des coûts dans le temps, selon les quatre périodes identifiées dans la section 3.3.1 :

- absence de coûts dans la période *Laisser-faire* de 1980-1992, période pendant laquelle la qualité de l'eau se dégrade ;
- coûts associés aux actions curatives et de reconquête sur les périodes 1993-2001 puis 2002-2004 (C+R estimé entre 352 et 374 k€/an, soit 0,21 - 0,22 €/m<sup>3</sup> prélevé ou 391 – 416 €/ha/an) pendant lesquelles la concentration en nitrates continue d'augmenter puis se stabilise ;
- augmentation des coûts associés aux actions curatives et de reconquête (C+R estimé à 431 k€/an en moyenne, soit 0,30 €/m<sup>3</sup> ou 160 €/ha/an) depuis 2004, période pendant laquelle on observe une diminution de la concentration en nitrates.

		1980-1992	1993-2001	2002-2004	2004-2017
		« Laisser-faire »	Curatif + Reconquête		
CMA Reconquête	k€/an	-	41	18	98
CMA Curatif	k€/an	-	333	333	333
<b>Total</b>	<b>k€/an</b>	-	<b>374</b>	<b>352</b>	<b>431</b>
Volume prélevé	Mm <sup>3</sup> /an	1,68*	1,68*	1,68*	1,45
CMA Reconquête	€/m <sup>3</sup>	-	0,02	0,01	0,07
CMA Curatif	€/m <sup>3</sup>	-	0,20	0,20	0,23
<b>Total</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	-	<b>0,22</b>	<b>0,21</b>	<b>0,30</b>
Superficie de l'AAC	ha	-	900	900	2 700
CMA Reconquête	€/ha/an	-	45	20	36
CMA Curatif	€/ha/an	-	370	370	123
<b>Total</b>	<b>€/ha/an</b>	-	<b>416</b>	<b>391</b>	<b>160</b>

\*Les volumes prélevés sont connus sur la période 2004-2017. On fait ici l'hypothèse que les volumes prélevés avant 2004 sont en moyenne les mêmes qu'en 2004 (1,680 Mm<sup>3</sup>).

Tableau 22 : Synthèse des coûts associés aux actions mises en œuvre sur le territoire de Penvert pour la période 1980-2017.

Malgré les actions mises en œuvre et décrites ci-dessus, les concentrations en nitrate dépassent encore aujourd'hui le seuil des 50 mg/L sur le captage de Penvert. La simulation BICHE d'un scénario avec maintien des pratiques actuelles (et des hypothèses sur les données climatiques) montre que celles-ci ne permettent pas de reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage même après plusieurs décennies (Figure 28). Face à cette situation, des scénarios potentiels d'action de reconquête de la qualité de l'eau sont envisagés (3.4) et leur impact sur l'évolution des concentrations futures en nitrate est évalué (3.5).

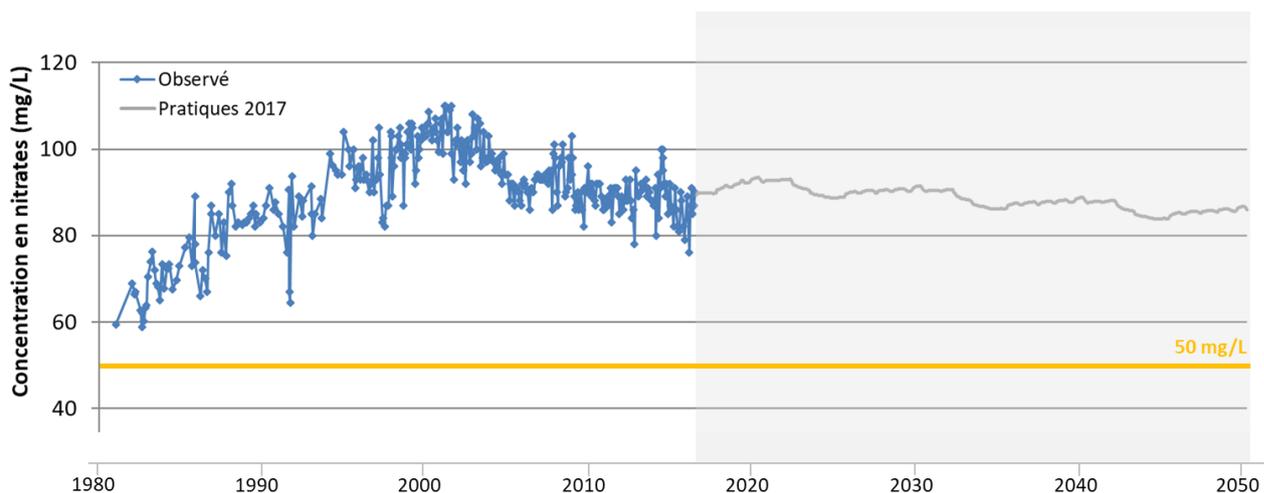


Figure 28 : Simulation de la concentration en nitrates future en cas de maintien des pratiques actuelles.

### 3.4. CO-CONSTRUCTION DE SCÉNARIOS D'ACTION DE RECONQUÊTE DE LA QUALITÉ DE L'EAU

#### 3.4.1. Démarche

Les scénarios d'action de reconquête de la qualité de l'eau sur le captage de Pentvert ont été élaborés avec la participation des acteurs concernés.

Tout d'abord, un atelier de travail a été organisé en septembre 2017, avec pour objectif de faire des propositions de potentielles actions de reconquête de la qualité de l'eau du captage de Pentvert vis-à-vis des nitrates. Cet atelier de travail a rassemblé 13 acteurs impliqués sur le territoire, issus de la profession agricole, de la Chambre d'Agriculture de la Sarthe, du syndicat d'eau potable exploitant le captage de Pentvert, de la DDT, de l'ARS, du conseil départemental de la Sarthe, et de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne. Les participants ont défini ensemble que l'objectif des actions devait être de « reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage de Pentvert vis-à-vis des nitrates ».

Dans un premier temps, les acteurs ont participé à un brainstorming collectif sur les actions pouvant être envisagées. Ce travail collectif a permis d'identifier trois grands types d'action :

- implantation de nouvelles cultures ;
- modification des rotations et gestion des couverts ;
- modification des pratiques de fertilisation.

Dans un deuxième temps, les participants à l'atelier ont travaillé en trois sous-groupes, un par grand type d'action identifié, afin de proposer une description technique des actions envisagées et un taux de mise en œuvre associé.

Enfin, les trois sous-groupes ont restitué les résultats de leur travail devant l'ensemble des participants.

À l'issue de l'atelier, le BRGM a synthétisé les résultats de cette restitution dans des « Fiches Action », complétés par « Le point de vue du modélisateur », c'est-à-dire un éclairage technique sur la possibilité de simuler les différentes actions avec le modèle BICHE. Ces Fiches Action sont présentées en Annexe 1. Ces fiches ont ensuite été diffusées aux participants afin de recueillir leurs retours et compléments. Suite à ces échanges, 5 scénarios

d'action ont finalement été retenus, pouvant être simulés d'un point de vue technique avec le modèle BICHE.

### **3.4.2. Scénarios retenus**

Deux des scénarios retenus concernent les pratiques de fertilisation et d'interculture, tandis que les trois autres consistent en des modifications de l'assolement.

#### **a) Scénario « Mise en place de couverts en interculture courte »**

Ce scénario est mis en place pour compléter l'efficacité des couverts longs déjà en place. Le principe est de semer une culture au développement rapide et à la capacité d'absorption de nitrate forte à la fin de la culture principale pour la déduire avant l'implantation de la culture suivante. Contrairement aux intercultures longues (pour lesquelles la culture suivante est semée au printemps), la culture suivante est semée en automne, ce qui parfois laisse des délais courts pour le développement du couvert.

Dans ce scénario, il a été considéré que des couverts végétaux sont mis en place lors de toutes les intercultures courtes (pois-blé, tournesol-blé, colza-blé, blé-blé, maïs-blé), sur l'ensemble du périmètre en plus des intercultures longues déjà obligatoires. Comme pour les intercultures longues, il existe une date limite d'implantation réglementaire fixée par la directive nitrates et une date de destruction possible pour les intercultures courtes. Le principe est de s'assurer d'une période suffisante d'absorption par les couverts durant la période propice aux transferts. Ce principe est facilement applicable pour les intercultures longues mais il est difficile à mettre en place pour les intercultures courtes car plusieurs cas de figures existent en fonction des dates de récolte et de semis des cultures de la rotation. Dans la Sarthe, il est légalement imposé de semer avant le 15 septembre et de ne pas détruire avant le 15 octobre. Ceci ne correspond pas aux rotations les plus courantes. En concertation avec la Chambre d'agriculture, il a été décidé de s'affranchir du cadre réglementaire actuel, contraignant pour les intercultures courtes. La date limite d'implantation sélectionnée pour la simulation est le 1<sup>er</sup> août et la destruction est possible jusqu'au 30 octobre.

#### **b) Scénario « Fractionnement de la fertilisation en 4 apports »**

Le fractionnement, dans le cas de la gestion des intrants azotés, permet de diminuer les apports initiaux au profit d'un apport final qui est généralement déclenché en fonction des besoins de la plante. En fonction de la croissance effectivement mesurée par l'exploitant grâce à une méthode et des outils disponibles sur le marché, il peut diminuer ou augmenter le dernier apport pour atteindre le meilleur rendement en fonction de l'année en cours.

Dans ce scénario, on considère que la fertilisation du blé est fractionnée en 4 apports au lieu de 3, sur l'ensemble de la sole de blé du périmètre. Pour les exploitations céréalières, qui représentent 60 % des surfaces, cela consistera en 4 apports d'azote minéral. Pour les éleveurs, représentant 40 % des surfaces, cela consistera en 3 apports en minéral et un apport en organique.

À noter que dans la modélisation, la somme des apports est constante, on ne peut pas représenter un éventuel ajustement du dernier apport. Ainsi, le scénario simulé avec le modèle BICHE consiste simplement en un fractionnement de la fertilisation dans le temps, sans modifier l'apport total prévu initialement.

#### **c) Scénario « Tournesol »**

Le tournesol est une culture généralement privilégiée dans les bassins versants sur lesquels une concentration élevée d'azote est observée car il nécessite peu de fertilisation (50 kg de

N/ha préconisés en moyenne) en comparaison du blé par exemple (162 kg de N/ha en moyenne en 2011 d'après Agreste, 2011).

Le tournesol est une culture déjà présente sur le territoire de Pentvert, où elle représente 5 % de la SAU. Dans ce scénario, la part du tournesol dans l'assolement est augmentée de façon à atteindre **15 % de la SAU** (soit +10 % de la SAU). L'impact sur le reste de l'assolement est décrit en section 3.5.1.

#### **d) Scénario « Chanvre »**

Comme le tournesol, le chanvre est une culture souvent proposée sur les bassins versants sur lesquels une concentration élevée d'azote est observée car il nécessite une faible fertilisation (50 kg de N/ha préconisés en moyenne) en comparaison des autres cultures.

Dans ce scénario, le chanvre est introduit dans l'assolement à hauteur de **10 % de la SAU**. Il s'agit d'une nouvelle culture pour le territoire de Pentvert. L'impact sur le reste de l'assolement est décrit en section 3.5.1.

#### **e) Scénario « Luzerne »**

La luzerne nécessite peu, voire le plus généralement pas de fertilisation. Cette culture est intéressante dans les situations où une baisse des concentrations en nitrates est envisagée. De plus, cette culture est mise en place sur plusieurs années, ce qui limite les fertilisations au moins pour deux ou trois campagnes.

Dans ce scénario, la luzerne est introduite dans l'assolement à hauteur de **20 % de la SAU**. Il s'agit d'une nouvelle culture pour le territoire de Pentvert. L'impact sur le reste de l'assolement est décrit en section 3.5.1.

### **3.5. ÉVALUATION DES SCÉNARIOS D'ACTION**

L'impact de ces cinq scénarios d'action a ensuite été évalué, à la fois en termes d'efficacité et en termes de coût.

#### **3.5.1. Démarche**

##### **a) Collecte des données nécessaires à l'évaluation**

La collecte des données technico-économiques nécessaires à l'évaluation du coût et de l'efficacité des scénarios d'action s'est effectuée en deux temps.

Tout d'abord, toutes les données existantes ont été compilées. Les données utilisées proviennent de bases de données du Ministère de l'Agriculture (Agreste, 2018), de publications nationales (Soltner, 2003) ou locales (ex : CA Sarthe, 2014). En particulier, la « Synthèse des marges cultures 2015-2016 » de la Chambre d'agriculture de Mayenne (CA53, 2016) et le document « Mes itinéraires marges 2017-2018 » de la Chambre d'agriculture de la Sarthe (CA72, 2018) ont été très utilisés. Ces informations ont été complétées par des données collectées auprès de la Chambre d'agriculture de la Sarthe, et par d'autres sources bibliographiques (AgroLuz, 2016 ; CA35, 2009 ; CA51 *et al.*, 2013 ; La Chanvrière, 2016 ; PAC, 2018 ; Terres Innovia, 2017).

Dans un deuxième temps, une phase de validation de ces données a été menée, afin de s'assurer que les données utilisées pour l'évaluation étaient bien représentatives du territoire de Pentvert. Pour cela, une réunion technique de validation des données technico-économiques a été organisée avec la Chambre d'agriculture de la Sarthe et la profession

agricole en septembre 2018. En complément, des entretiens téléphoniques ont été menés auprès d'agriculteurs experts de la culture chanvre dans l'Orne, car il n'y avait pas d'expérience locale pour cette culture.

Le détail des données validées utilisées pour l'évaluation du coût et de l'efficacité des actions est disponible en Annexe 2.

### **b) Calcul des assolements**

Pour les trois scénarios impliquant une modification des assolements (Tournesol, Chanvre, Luzerne), la première étape préalable à l'évaluation consiste à déterminer quels seront les nouveaux assolements considérés dans chacun des trois scénarios. En effet, augmenter la surface de certaines cultures signifie diminuer la surface d'autres cultures. Il est donc nécessaire de faire des hypothèses sur l'évolution des assolements engendrée par l'introduction des nouvelles cultures ou l'augmentation significative de cultures déjà existantes.

Lors de la réunion technique de septembre 2018 entre le BRGM, la Chambre d'agriculture de la Sarthe et la profession agricole, il a été décidé de considérer que l'introduction de nouvelles cultures et l'augmentation de la part du tournesol dans la SAU se feraient par un allongement des rotations existantes, plutôt que par la création de nouvelles rotations.

Deux rotations existantes principales ont été identifiées sur Pentvert :

- une rotation « **maïs / blé / culture de printemps / blé** », représentant 40 % de la SAU. Dans cette rotation, la culture de printemps peut être du pois ou du tournesol.
- une rotation « **colza / blé / céréale à paille** », représentant 52 % de la SAU. La céréale à paille peut être du blé ou de l'orge. Cette rotation sera modélisée en « **colza / blé / blé** » dans le modèle BICHE par souci de simplification.

Les participants à la réunion notent qu'il apparaît nécessaire d'allonger la rotation colza / blé / blé, car la pression parasitaire est plus difficile à gérer sur les rotations courtes. Ainsi, les trois principes suivants sont retenus pour le calcul des assolements dans les scénarios « tournesol », « chanvre » et « luzerne » :

- on allonge les rotations existantes plutôt que de créer de nouvelles rotations ;
- on privilégie l'allongement de la rotation « Colza / blé / blé » tant que possible ;
- on essaye de maintenir le plus stable possible la répartition des autres cultures du territoire<sup>15</sup>.

### **Scénarios « tournesol » et « chanvre » (+10 % de SAU)**

Pour les scénarios « tournesol » et « chanvre », on allonge ainsi la rotation « colza / blé / blé », qui devient « colza / blé / blé / tournesol / blé » ou bien « colza / blé / blé / chanvre / blé ». Cette rotation en 5 ans est mise en place sur 50 % de la SAU, ce qui permet d'obtenir 10 % de SAU de culture additionnelle (c'est-à-dire 10 % de SAU dans le cas du chanvre, et 5 % existant plus 10 % soit 15 % au total pour le tournesol). L'autre rotation reste inchangée (Figure 29).

---

<sup>15</sup> Ce choix permet de maintenir le plus stable possible la surface en blé (culture essentielle du site), ainsi que la surface en maïs (pour ne pas pénaliser l'élevage).

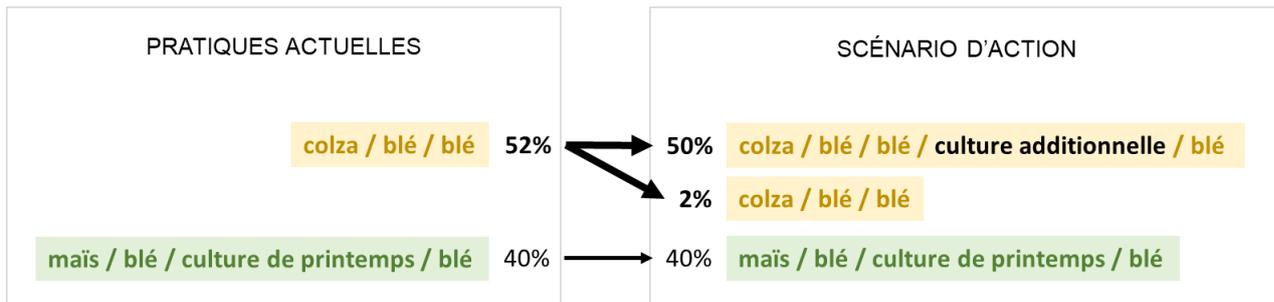


Figure 29 : Évolution de la part des différentes rotations dans la SAU (en %) pour les scénarios « tournesol » et « chanvre ».

L'augmentation de surface en chanvre ou en tournesol est donc compensée essentiellement par une baisse de la surface de colza, qui passe d'1 année sur 3 dans la rotation initiale à 1 année sur 5 dans la rotation allongée, et plus marginalement par une baisse de surface du blé, qui passe de 2 années sur 3 à 3 années sur 5 dans la rotation allongée (Tableau 23).

Culture	Fréquence dans la rotation initiale	Fréquence dans la rotation allongée	Diminution en % de la culture	Diminution en part de la SAU
Colza	1 année sur 3	1 année sur 5	-38 %	-7 %
Blé	2 année sur 3	2 année sur 5	-9 %	-3 %

Tableau 23 : Évolution des surfaces des autres cultures, scénarios « tournesol » et « chanvre ».

### **Scénario « luzerne » (20 % de la SAU)**

Pour la luzerne, une culture sur 3 ans est prise en compte. Étant donné l'importance de la surface à intégrer, et pour ne pas déséquilibrer la répartition des autres cultures, on fait l'hypothèse que la moitié de la surface de luzerne est intégrée devant la rotation « colza / blé / blé », et l'autre moitié devant la rotation « maïs / blé / culture de printemps / blé » (Figure 30).

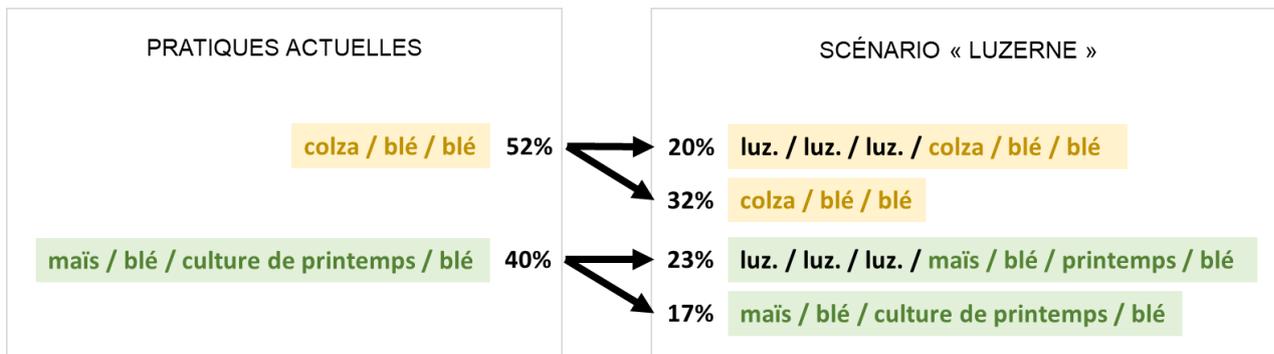


Figure 30 : Évolution de la part des différentes rotations dans la SAU (en %) pour le scénario « luzerne ».

L'augmentation de surface en luzerne est donc compensée par une baisse de la surface sur les deux rotations existantes de manière équivalente. Cela permet d'impacter l'ensemble des cultures déjà en place de façon relativement homogène (Tableau 24).

Culture	Fréquence dans la rotation initiale	Fréquence dans la rotation allongée	Diminution en % de la culture	Diminution en part de la SAU
Maïs	1 année sur 4	1 année sur 7	-32 %	-2,5 %
Cultures de printemps	1 année sur 4	1 année sur 7	-32 %	-2,5 %
Colza	1 année sur 3	1 année sur 6	-24 %	-3,4 %
Blé (rotation « maïs »)	2 années sur 4	2 années sur 7	-27 % au total	-11,6 % au total
Blé (rotation « colza »)	2 années sur 3	2 années sur 6		

Tableau 24 : Évolution des surfaces des autres cultures (scénario « luzerne »).

### c) Évaluation du coût des actions

Le coût de la mise en œuvre des actions pour l'agriculture est évalué en termes de différentiel de marge semi-nette, entre les pratiques actuelles et le scénario d'action considéré. La marge semi-nette a été privilégiée plutôt que la marge brute car elle permet d'intégrer les frais spécifiques de récolte et de séchage, très variables entre les différentes cultures considérées. Elle permet également de prendre en compte les coûts additionnels associés à des modifications de pratiques (couverts, fractionnement) à assolement constant.

Le calcul de la marge semi-nette prend en compte les éléments suivants :

- produits :
  - o rendements,
  - o prix,
  - o éventuelles aides couplées ;
- charges :
  - o semis,
  - o fertilisation,
  - o produits phytosanitaires,
  - o récolte,
  - o autres coûts spécifiques à la culture (ex : séchage).

Les marges semi-nettes moyennes<sup>16</sup> (rendement moyen, prix moyen) des différentes cultures sont présentées dans le Tableau 25. Elles servent de base à l'évaluation du coût des actions. Le détail des données validées utilisées pour reconstituer ces marges est disponible en Annexe 2.

<sup>16</sup> Sur la base des données disponibles pour les années 2012 à 2016 et les échanges avec les acteurs.

	Blé tendre d'hiver	Colza	Maïs grain <sup>17</sup>	Pois	Tournesol	Luzerne fourrage	Chanvre
Marge semi-nette moyenne (€/ha)	514	643	607	430	420	455	736

Tableau 25 : Marge semi-nette moyenne (rendement moyen, prix moyen) des différentes cultures.

Pour les scénarios de modification de l'assolement, on comparera les marges semi-nettes moyennes obtenues avec les différentes rotations. Pour les scénarios de modification des pratiques à assolement constant, on évaluera les charges supplémentaires qui viendront diminuer ces marges semi-nettes.

Étant donnée la volatilité des prix des produits agricoles, l'impact de la variabilité des prix sur l'évaluation du coût des scénarios d'action sera également examiné. Les marges des différentes cultures en contextes de prix hauts et de prix bas sont présentées dans le Tableau 26. La luzerne se démarque par sa stabilité de prix et donc de marge.

Marge semi-nette moyenne (€/ha)	Blé tendre d'hiver	Colza	Maïs grain	Pois	Tournesol	Luzerne fourrage	Chanvre
Contexte « Prix hauts »	922	1027	1073	566	628	455	836
Contexte « Prix bas »	400	477	369	388	325	455	661

Tableau 26 : Marges semi-nettes des différentes cultures en contextes de prix hauts et de prix bas.

#### d) **Évaluation de l'efficacité des actions**

Le critère utilisé pour mesurer l'efficacité des actions est la différence de concentration en nitrates au niveau du captage par rapport au scénario « Pratiques actuelles » (maintien des pratiques et assolement actuels). L'évolution des concentrations en nitrates de l'eau souterraine est évaluée pour tous les scénarios en procédant à des simulations avec le modèle BICHE.

- **Principe du modèle**

Le modèle BICHE (Bilan CHimique des Eaux) est un modèle global conceptuel : il représente le bassin versant comme un assemblage de réservoirs interconnectés qui représentent des compartiments du milieu souterrain (schématiquement, la zone racinaire, la zone non saturée plus profonde et la nappe) auxquels correspondent plusieurs niveaux de stockage de l'eau et des nitrates (Thiery *et al.*, 1985). Il s'agit donc d'un modèle à réservoirs en cascade sur un principe identique à celui du modèle hydrologique global GARDENIA (Thiéry, 2014, Thiéry, 2015) dont il reprend l'essentiel des fonctionnalités. Les principaux mécanismes du cycle de l'eau dans un bassin versant (pluie, évapotranspiration, infiltration, écoulement) et des nitrates (processus biochimiques de transformation de l'azote au niveau du sol et processus physiques de transport jusqu'à l'exutoire) sont régis par des lois simples dont les paramètres sont propres à chaque réservoir (Figure 31).

<sup>17</sup> Par souci de simplification, c'est la marge du maïs grain irrigué qui sera utilisée dans les calculs d'évaluation du coût des actions. On ne distinguera pas le cas du maïs fourrage en sec.

D'un point de vue hydrologique, le bassin versant est caractérisé par une série de précipitations (mm) et une série d'évapotranspiration potentielle (mm).

D'un point de vue « agricole », le bassin versant est considéré comme une entité caractérisée par les données globales suivantes :

- une série d'apports de nitrate par application d'engrais (kg de nitrate/ha) ;
- une série de besoins en nitrate des plantes (kg de nitrate/ha) ;
- une série de minéralisation de la matière organique du sol (kg de nitrate/ha) ;
- une série de libération de nitrate par les résidus culturaux (kg de nitrate/ha).

Le principe de la simulation des transferts de nitrates est le suivant : en plus des apports d'eau par les pluies et des prélèvements par évapotranspiration, le réservoir superficiel du modèle reçoit à chaque pas de temps (par exemple chaque mois) d'éventuels épandages de fertilisants et des prélèvements en nitrates par les cultures en fonction de leurs besoins à cette période. Les cultures ne peuvent prélever de nitrates que s'ils sont disponibles dans ce réservoir superficiel, qui représente la zone racinaire. Parallèlement, des nitrates sont produits par minéralisation de la matière organique du sol et par décomposition des résidus végétaux après récolte. Les nitrates présents dans le réservoir superficiel sont partiellement entraînés avec l'eau d'infiltration successivement vers les deux réservoirs sous-jacents : le réservoir qui représente la zone non saturée en dessous de la zone racinaire puis le réservoir souterrain qui représente la nappe souterraine.

Les quantités d'eau et de nitrates qui sont stockées ou transférées d'un réservoir à l'autre sont gérées par des paramètres internes du modèle. Pour certains, ces paramètres peuvent présenter une analogie avec des paramètres physiques mesurables (telle la réserve utile, la superficie du bassin versant). Pour d'autres, les paramètres sont des variables à ajuster durant le calage. Le modèle dispose d'un module d'optimisation qui fait varier chaque paramètre à l'intérieur d'un intervalle fixé par le modélisateur en fonction de valeurs qu'il considère plausibles, de par le contexte du bassin et son expérience du modèle. Certains paramètres étant corrélés, il n'y a pas de solution unique. Des résultats proches peuvent être obtenus avec des paramétrages différents. Ce qui compte, c'est que le résultat de la modélisation soit en adéquation avec les données observées. Il sera donc essentiel de disposer de longues chroniques contrastées pour ajuster le modèle à la fois sur des périodes de faibles et fortes valeurs. Cette phase d'ajustement correspond au calage du modèle.

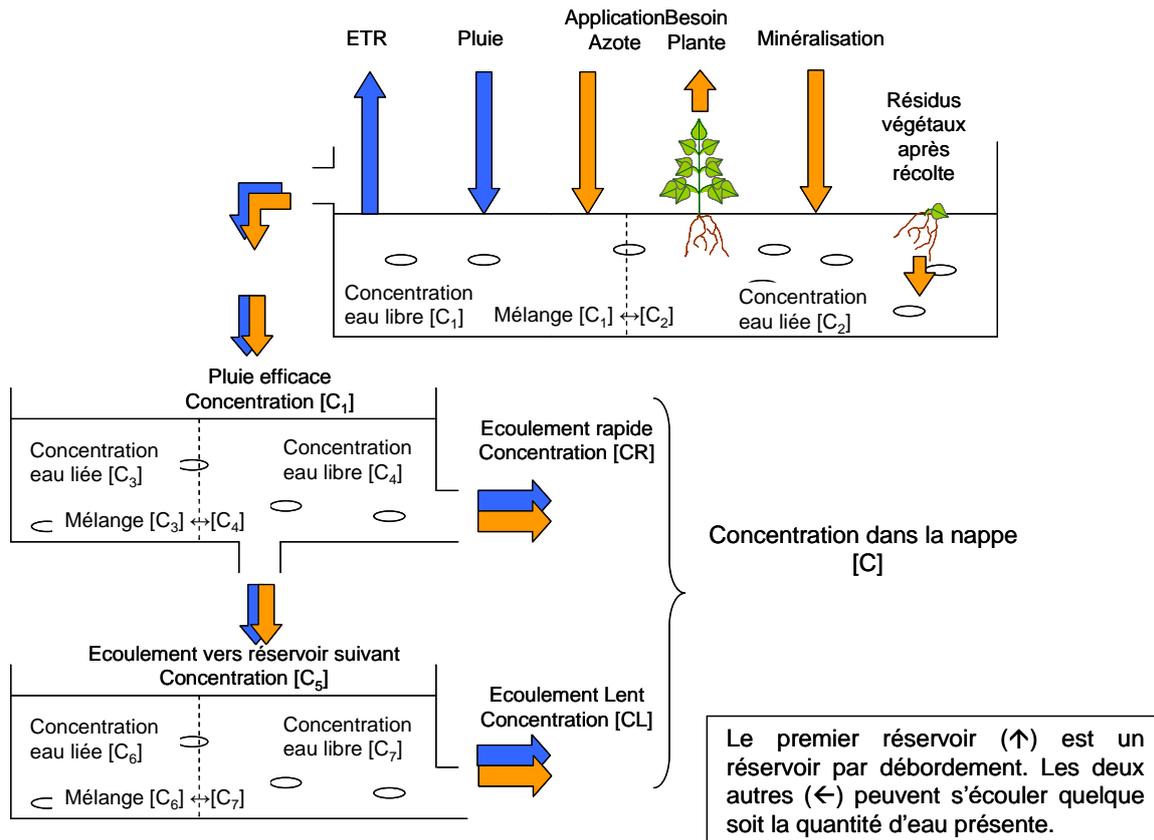


Figure 31 : Modèle BICHE : principe du fonctionnement du transfert de masse (d'après Thiéry, 1990).

• **Données d'entrée spécifiques à chaque scénario**

Les données d'entrée du modèle BICHE concernent :

- l'occupation des sols, c'est-à-dire la **proportion** qu'occupent non seulement les cultures sur la surface agricole utile mais également les espaces boisés, les friches, zones enherbées et zones urbaines sur le territoire ;
- les besoins des plantes : ils sont obtenus pour chaque culture de manière indirecte, en analysant les rendements des cultures ;
- les fertilisations des cultures.

Pour l'évaluation de l'efficacité des scénarios, les données de rendement et de fertilisation utilisées ont été collectées en suivant la méthode décrite dans la section 3.5.1 et sont donc en cohérence avec les données utilisées pour l'évaluation du coût des actions. Pour une information détaillée sur la mise en œuvre du modèle, il est possible de se référer à Surdyk et al. (2019)<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> Les simulations ont été réalisées sur la base du calage « nouvelles références ».

### 3.5.2. Résultats

#### a) Mise en place de couverts en interculture courte

- **Efficacité**

La simulation des concentrations en nitrate montre un effet positif de l'application des couverts courts par rapport à la simulation des concentrations en nitrates issues des pratiques actuelles. En 2050, la concentration moyenne annuelle simulée pour le scénario « couvert court » est de 78,9 mg/L. Cela représente 7 mg/L de moins que le scénario « pratiques actuelles » (Figure 32).

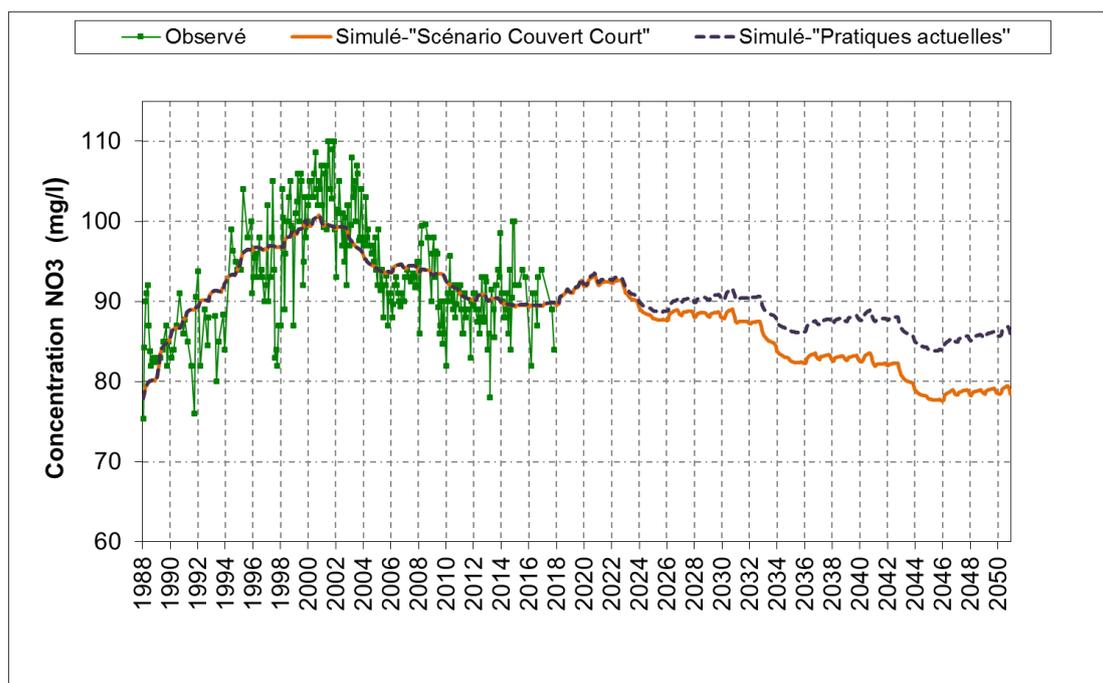


Figure 32 : Comparaison des simulations du scénario « couvert court » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

Les couverts courts absorbent une partie de l'azote et la restituent ensuite au moment où les cultures en ont le plus besoin. De plus, l'azote est immobilisé durant des mois où les pluies peuvent être importantes. Ce recalage entre les besoins des cultures principales et les sources d'azote peut expliquer la baisse de concentrations de nitrates observées durant la simulation.

Durant toute la durée de la simulation, un rendement de 2 t de MS a été simulé pour les parcelles ce qui est peut-être surévalué pour certaines années où l'implantation est réalisée dans de mauvaises conditions comme par exemple les années où la fin de l'été et le début de l'automne sont secs.

- **Coût**

On fait l'hypothèse que le couvert mis en place est un mélange moutarde-phacélie-sarrasin, en accord avec les pratiques observées sur le territoire de Pentvert. Les charges supplémentaires pour toutes les intercultures courtes (pois-blé, tournesol-blé, colza-blé, blé-blé, maïs-blé) correspondent aux coûts de :

- l'implantation du couvert : semences, matériel, carburant, travail ;
- la destruction du couvert : matériel, carburant, travail ;

- l'utilisation d'éventuels produits phytosanitaires (parfois anti-limaces).

Le coût du scénario d'action est ainsi estimé à 113 €/ha concerné. Avec 1 740 ha concernés sur le territoire de Pentvert (mise en place de couverts sur toutes les intercultures courtes), le coût total du scénario d'action est donc de 198 000 € en moyenne chaque année. Ce coût représente 16 % de la marge semi nette totale sur l'ensemble du périmètre.

À noter que cette évaluation ne prend pas en compte les potentielles économies pour la culture suivante (économie d'azote, de produits phytosanitaires, de travail du sol).

### **b) Fractionnement de la fertilisation du blé en 4 apports**

- **Efficacité**

Il a été expliqué précédemment que le fractionnement, dans le cas de la diminution des intrants azotés, permet de diminuer les apports initiaux au profit d'un apport final qui est généralement déclenché en fonction des besoins de la plante.

Néanmoins, durant la simulation, la variabilité climatique durant la partie prévisionnelle et donc la possibilité de pilotage telle qu'elle serait faite sur le terrain, n'a pas été prise en compte. Durant ce scénario, seul l'effet du fractionnement est pris en compte et pas l'effet du pilotage. Autrement dit, dans les deux cas la même dose est appliquée, seule la répartition durant l'année de la fertilisation est modifiée.

Les deux simulations (« pratiques actuelles » et « scénario 4 apports ») fournissent des concentrations finales très similaires. En 2050, la concentration moyenne annuelle simulée pour le scénario « 4 apports » est de 85,5 mg/L. Cela représente 1 mg/L de moins que le scénario « pratiques actuelles » (Figure 33).

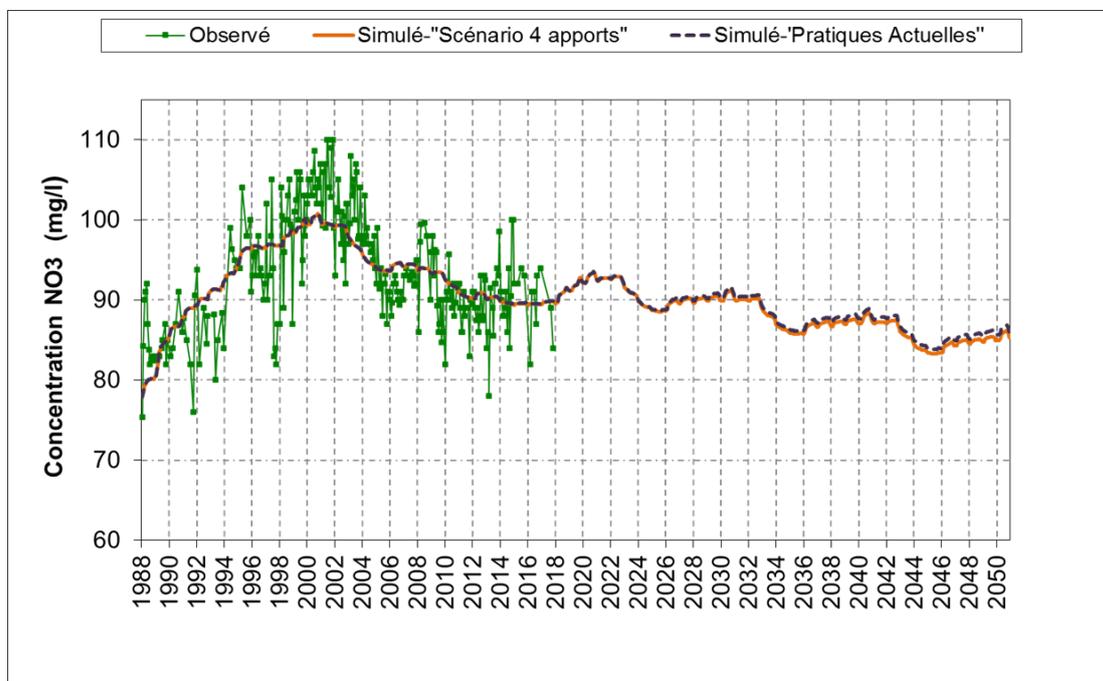


Figure 33 : Comparaison des simulations du scénario « 4 apports » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

Les simulations fournissent des résultats très similaires car les fertilisations appliquées sont identiques, seules les répartitions sont différentes entre les deux scénarios. En termes de modélisation, cela revient à décaler 30 kg de N/ha de mars en avril.

- **Coût**

Les charges supplémentaires pour la culture blé correspondent à celles d'un apport en minéral supplémentaire. On prend en compte :

- le coût d'un passage supplémentaire : matériel, travail, carburant ;
- le cout du pilotage associé : une analyse supplémentaire (Jubil®).

Le coût du scénario d'action est ainsi estimé à 22 €/ha concerné. Avec 792 ha concernés sur le territoire de Pentvert (100 % de la sole de blé), le coût total du scénario d'action est donc de 17 500 € en moyenne chaque année. Ce coût représente 1,5 % de la marge semi nette totale sur l'ensemble du périmètre.

À noter que cette évaluation considère que l'impact du fractionnement sur le rendement et le taux protéique sont négligeables (pas de plus-value si le taux protéique est plus élevé).

**c) Augmentation de la part du tournesol dans l'assolement (+10 % de SAU, soit 15 %)**

- **Efficacité**

La concentration simulée pour le scénario « tournesol » est de 78,8 mg/L en 2050. Cela représente 7 mg/L de moins que le scénario de référence. La simulation des concentrations en nitrate montre un effet positif de l'augmentation de la part du tournesol dans l'assolement par rapport à la simulation des concentrations en nitrates issues des pratiques actuelles (Figure 34).

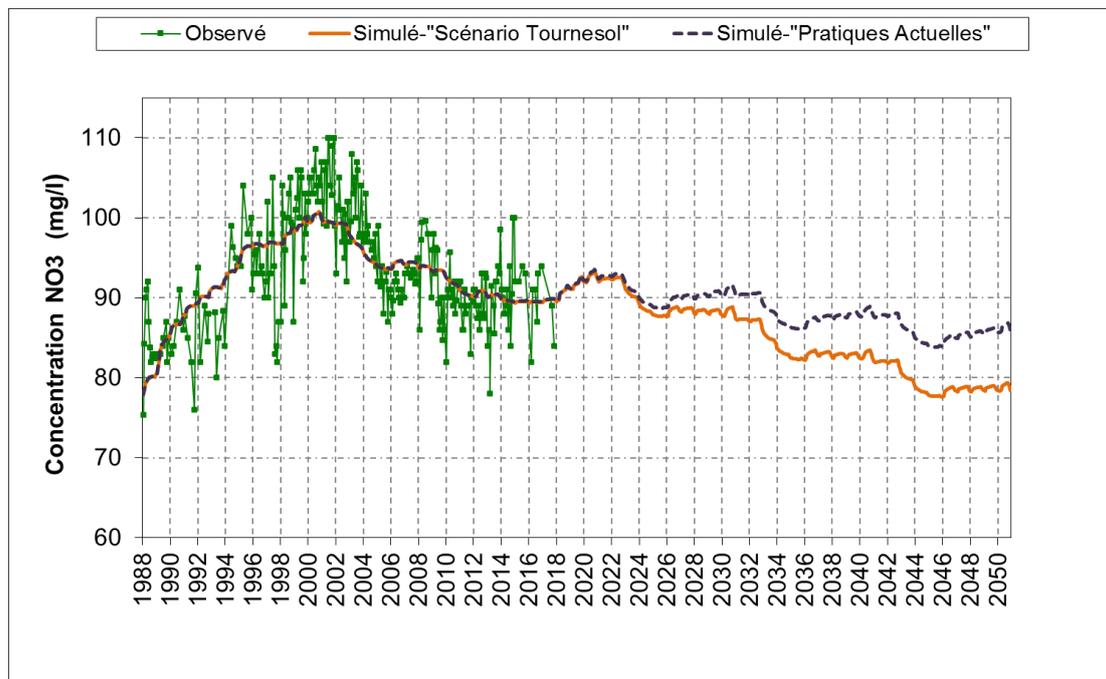


Figure 34 : Comparaison des simulations du scénario « tournesol » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

Le tournesol demande peu de fertilisation (50 kg de N/ha) mais cette culture a aussi des besoins limités (125 kg de N/ha pour un rendement de 27qx). Aussi lorsqu'elle remplace des cultures très fertilisées mais très exigeantes, l'impact sur les concentrations au captage est moins important qu'attendu.

- **Coût**

La rotation « colza / blé / blé » est allongée en « colza / blé / blé / tournesol / blé », sur 50 % de la SAU. Le différentiel de marge semi-nette moyenne entraîné par l'allongement de la rotation est présenté dans le Tableau 27.

<b>Marge semi-nette moyenne de la rotation initiale « colza / blé / blé »</b>	<b>557 €/ha/an</b>
Marge semi-nette moyenne de la rotation allongée « colza / blé / blé / <u>tournesol</u> / blé »	521 €/ha/an
<b>Bilan de l'action, par hectare concerné par la modification d'assolement</b>	<b>- 36 €/ha/an</b>
Nombre d'hectares concernés	1210 ha

Tableau 27 : Bilan économique du scénario « tournesol ».

Le coût du scénario d'action est ainsi estimé à 36 €/ha concerné par l'allongement de rotation. Avec 1 210 ha concernés sur le territoire de Pentvert (50 % de la SAU), le coût total du scénario d'action est donc de 43 500 € en moyenne chaque année. Ce coût représente 3,6 % de la marge semi nette totale sur l'ensemble du périmètre.

**d) Introduction du chanvre dans l'assolement (10 % de la SAU)**

- **Efficacité**

La concentration en nitrate résultant de la simulation de l'introduction du chanvre dans l'assolement et celle issue de la simulation des pratiques actuelles sont relativement proches (Figure 35). La concentration moyenne annuelle simulée en 2050 pour le scénario « chanvre » est de 83,5 mg/L. Cela représente 3 mg/L de moins que le scénario de référence pour la même année.

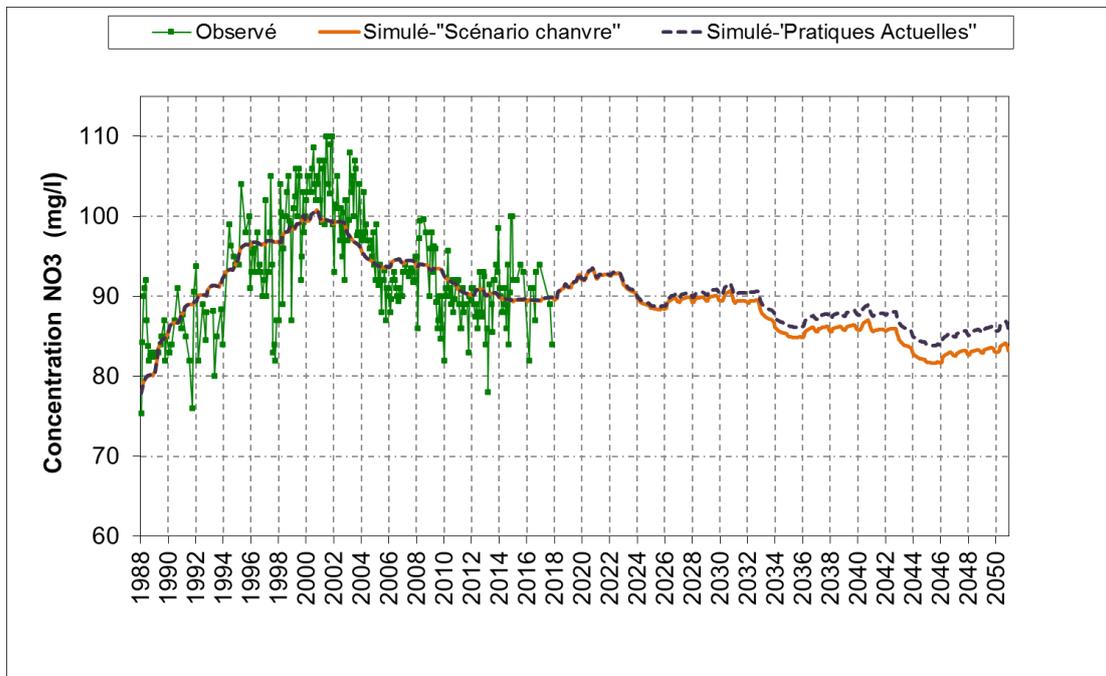


Figure 35 : Comparaison des simulations du scénario « chanvre » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

Le chanvre demande peu de fertilisation (50 kg de N/ha). Cette culture est souvent considérée comme une culture « bas intrants ». Lorsqu'elle remplace des cultures très fertilisées mais très exigeantes, l'impact sur les concentrations au captage est moins important qu'attendu car elle a une fertilisation faible mais également des besoins relativement faibles (112 kg de N pour 7,5 t de paille).

Dans le cadre de la contamination par les produits phytosanitaires, le classement du chanvre dans les produits bas intrants peut être utilisé dans la limitation des contaminations des eaux de captage. Dans le cas des nitrates, le fait d'être une culture bas intrants n'est pas suffisant si les besoins sont faibles car la balance (Apport-Export) peut rester relativement moyenne.

- **Coût**

La rotation « colza / blé / blé » est allongée en « colza / blé / blé / chanvre / blé », sur 50 % de la SAU. Le différentiel de marge semi-nette moyenne entraîné par l'allongement de la rotation est présenté dans le Tableau 28.

<b>Marge semi-nette moyenne de la rotation initiale « colza / blé / blé »</b>	<b>557 €/ha/an</b>
Marge semi-nette moyenne de la rotation allongée « colza / blé / blé / <u>chanvre</u> / blé » <sup>19</sup>	584 €/ha/an
<b>Bilan de l'action, par hectare concerné par la modification d'assolement</b>	<b>+27 €/ha/an</b>
Nombre d'hectares concernés	1210 ha

Tableau 28 : Bilan économique du scénario « chanvre ».

Le scénario « c hanvre » présente ainsi un bénéfice, et non un coût, estimé à +27 €/ha concerné par l'allongement de rotation. Avec 1 210 ha concernés sur le territoire de Pentvert (50 % de la SAU), le bénéfice total du scénario d'action est donc de 33 000 € en moyenne chaque année. Ce coût représente 2,7 % de la marge semi nette totale sur l'ensemble du périmètre.

- **Informations complémentaires**

La valorisation du chanvre est double : tout d'abord un battage permet de récolter la graine (appelée chènevis), puis un fauchage permet de récolter la paille (fibre et chènevotte). La bibliographie indique que la graine peut être récoltée une année sur deux en moyenne, mais des retours d'expérience dans la région font état d'une année sur trois en moyenne. Dans l'évaluation, on retient l'hypothèse d'une année sur deux pour le calcul de la marge moyenne<sup>20</sup>.

La culture présente d'autres bénéfices. Tout d'abord, il s'agit d'une culture « zéro phytosanitaire ». De plus, il s'agit d'un bon précédent pour le blé (gain de rendement).

Toutefois, la culture présente un certain nombre de difficultés. Tout d'abord, le chanvre est une culture qui nécessite un contrat de commercialisation. Il est indispensable d'avoir des débouchés à proximité du territoire. Ensuite, la culture du chanvre nécessite des capacités de stockage importantes. Pour la paille de chanvre, une surface de 10 à 15 m<sup>2</sup> de stockage est nécessaire pour 7 tonnes de paille de chanvre. Cela peut être problématique pour un éleveur, car cela concurrence le stockage de paille. Pour la graine de chanvre, le volume récolté étant beaucoup plus faible (environ 1t/ha), le stockage est moins problématique. Par contre, il est

<sup>19</sup> Cette marge correspond à l'hypothèse où la graine est récoltée une année sur deux en moyenne.

<sup>20</sup> Et une année sur trois pour le calcul de la fourchette basse de la marge.

nécessaire de disposer d'un séchoir à graine, et le séchage doit être effectué dans les 4-5 heures suivant la récolte car la graine est très huileuse et pourrait se dégrader. La récolte, adaptée au cahier des charges imposé par l'usine de transformation, est compliquée. La gestion du temps de travail est difficile à la récolte, en particulier pour les éleveurs car la surcharge de travail est générée au moment de la période de vêlage. Des agriculteurs s'étant lancés dans la culture du chanvre dans l'Orne ont arrêté au bout de quelques années, en lien avec ces problématiques de stockage et de récolte. Pour la durabilité de ces filières, une piste de travail est l'organisation collective de la partie récolte.

#### e) Introduction de luzerne dans l'assolement (20 % de la SAU)

- **Efficacité**

La simulation de l'évolution des concentrations en nitrates montre un fort effet positif de l'introduction de la luzerne dans l'assolement en comparaison des pratiques actuelles. À la fin de la simulation, la concentration moyenne annuelle simulée pour l'année 2050 est de 61,8 mg/L. Cela représente 25 mg/L de moins que le scénario « pratiques actuelles » (Figure 36).

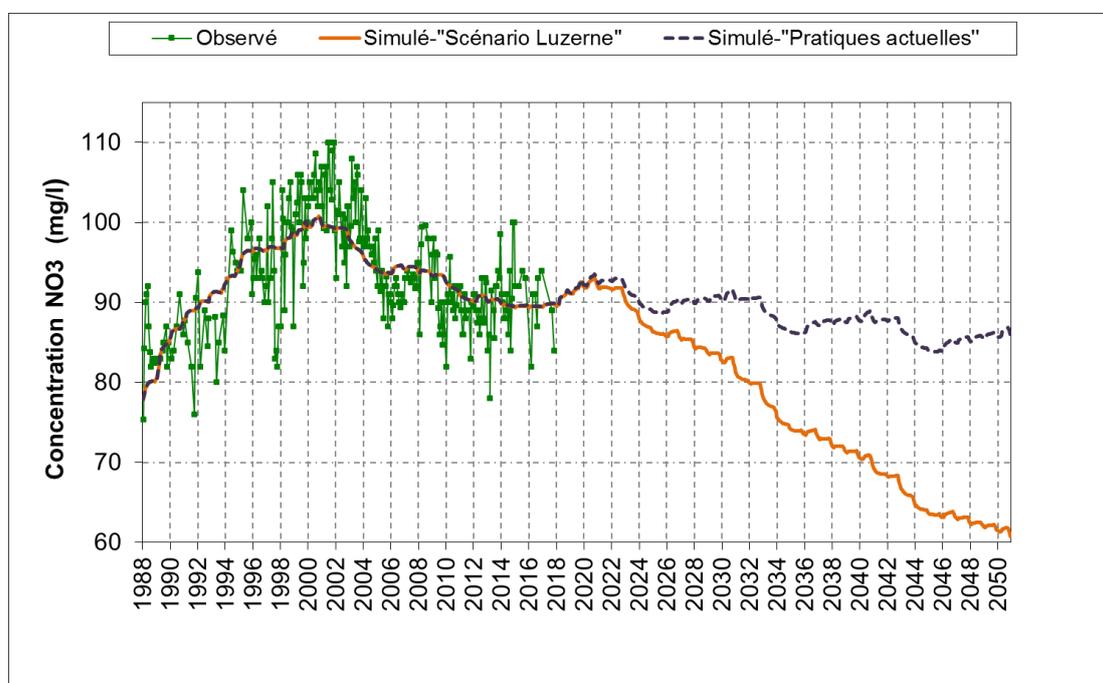


Figure 36 : Comparaison des simulations du scénario « 4 apports » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

La luzerne ne demande généralement pas de fertilisation car elle est capable de fixer elle-même de l'azote inorganique de l'air. En revanche, ses besoins peuvent être élevés en fonction du rendement. Celui-ci dépend de la conduite de la parcelle mais il peut aussi dépendre des débouchés recherchés. Des rendements aux alentours de 10 t de MS/ha restent facilement accessibles. La partie fixée par les nodosités par rapport à celle provenant du sol reste difficilement quantifiable (Soltner, 2003).

- **Coût**

La rotation « colza / blé / blé » est allongée en « luzerne / luzerne / luzerne / colza / blé / blé » sur 20% de la SAU, et la rotation « maïs / blé / culture de printemps / blé » est allongée en « luzerne / luzerne / luzerne / maïs / blé / culture de printemps / blé » sur 23,33 % de la SAU.

Le différentiel de marge semi-nette moyenne entraîné par l'allongement de ces rotations est présenté dans le Tableau 29, pour de la luzerne valorisée en fourrage.

Rotation de base	« colza / blé / blé »	« maïs / blé / tournesol / blé »	« maïs / blé / pois / blé »
Marge semi-nette moyenne de la rotation initiale	557 €/ha/an	513 €/ha/an	516 €/ha/an
Marge semi-nette moyenne de la rotation allongée	506 €/ha/an	488 €/ha/an	490 €/ha/an
<b>Bilan de l'action, par hectare concerné par la modification d'assolement</b>	<b>- 51 €/ha/an</b>	<b>- 25 €/ha/an</b>	<b>- 26 €/ha/an</b>
Nombre d'hectares concernés	484 ha	282 ha	282 ha

Tableau 29 : Bilan économique du scénario « luzerne ».

Le coût du scénario d'action est ainsi estimé à 51 €/ha concerné par l'allongement de la rotation « colza / blé / blé » et 25,5 €/ha concerné par l'allongement de la rotation « maïs / blé / culture de printemps / blé ». Avec 1 048 ha concernés sur le territoire de Pentvert au total, le coût total du scénario d'action est donc de 39 000 € en moyenne chaque année. Ce coût représente 3,2 % de la marge semi nette totale sur l'ensemble du périmètre.

- **Informations complémentaires**

La culture de la luzerne présente un certain nombre d'autres bénéfices, non pris en compte dans l'évaluation. Tout d'abord, il s'agit d'un précédent favorable pour les cultures suivantes (gain de rendement, économie d'azote, réduction risques sanitaires). Les centres de gestion estiment ces bénéfices à 80 €/ha (Cultivar, 2017). D'autre part, sa marge est plus stable que celle des autres cultures, et peut être un facteur de stabilisation de la marge globale de l'exploitation. Enfin, c'est une culture prise en compte dans les surfaces d'intérêt écologique (1ha de luzerne compte pour 0,7 ha de SIE).

Toutefois, la culture présente également un certain nombre de difficultés. C'est une culture technique, avec un coût matériel très important pour la récolte (hors filière). Par ailleurs, la valorisation de la luzerne n'est pas facile en l'absence d'élevage ou d'usines de déshydratation à proximité.

L'existence d'une filière peut être un atout à double titre : la récolte est alors prise en charge par l'acheteur, et la filière transformation de la luzerne peut participer à la dynamisation du territoire. La difficulté tient à l'adéquation entre le dimensionnement c'est-à-dire le seuil de viabilité économique de la filière, et le potentiel de surfaces mobilisables sur le secteur. Une trentaine d'usines de déshydratation existent en France, la plupart avec un dimensionnement assez conséquent avec une moyenne de 2 600 ha de luzerne par usine (Coop de France Déshydratation). Des initiatives de déshydratation à basse température à petite échelle existent également. Par exemple, une expérience pilote de 170 ha a été tentée dans l'Ain en 2013 (dossier de presse, 2013 ; Martel et Lucas, 2016, fonctionnant avec des énergies renouvelables. Les résultats se sont cependant révélés en deçà des espérances les premières années, du fait d'une météo atypique, de la maîtrise imparfaite de la culture et du peu d'appui technique disponible. Autre exemple, un projet de 400 ha en Haute-Loire, fonctionnant avec de l'énergie biomasse (Comité de développement du Velay Volcanique, 2010). Ce projet n'a finalement pas vu le jour, mais il est intéressant de noter qu'un dimensionnement de 400 ha était considéré comme le seuil de viabilité économique pour ce type de projet. Dans le scénario « luzerne » simulé sur le territoire de Pentvert, la surface de luzerne considérée est de 446 ha.

## f) Synthèse

• Comparaison des cinq scénarios d'action

En complément du Tableau 30, la Figure 37 propose une représentation graphique synthétique du coût et de l'efficacité de chaque scénario d'action, avec le coût annuel en abscisses et en ordonnées l'efficacité calculée comme la réduction de la concentration en nitrates à l'horizon 2050 par rapport au scénario *Pratiques actuelles*. Ainsi, plus la pente est élevée, meilleur est le ratio coût-efficacité (actions moins coûteuse et/ou plus efficace).

		Luzerne	Tournesol	Couverts courts	Chanvre	Fertilisation 4 apports
Efficacité	Concentration moyenne à horizon 2050 (mg/L)	61	79	79	82	85
	Passage sous le seuil des 50 mg/L	non	non	non	non	non
	Delta total par rapport au scénario Pratiques actuelles 2050 (mg/L)	- 25 mg/L	- 7 mg/L	- 7 mg/L	- 3 mg/L	- 1 mg/L
	Delta moyen annuel (mg/L/an)	- 0,77	- 0,23	- 0,23	- 0,08	- 0,02
Coût	Delta marge total sur le périmètre (€/an)	- 39 000	- 43 500	- 198 000	+ 33 000	- 17 500
Coût-Efficacité	€/mg/L/an	51 000	188 000	865 000	- 399 000	822 000

Tableau 30 : Efficacité, coût et coût-efficacité des cinq scénarios d'action, ordonnés par efficacité décroissante.

En termes d'efficacité, aucun scénario ne permet de repasser sous le seuil des 50 mg/L de nitrates à horizon 2050. Toutefois, le scénario luzerne se démarque comme étant le plus efficace (Tableau 30, Figure 35). Compte-tenu des incertitudes de modélisation (liées notamment aux hypothèses sur les conditions climatiques), on peut considérer que les quatre autres scénarios donnent des résultats équivalents.

En termes de coût moyen, deux scénarios se démarquent (Figure 38 et Figure 39). D'un côté, la mise en place de couverts en intercultures courtes apparaît comme étant de loin la mesure la plus coûteuse. D'un autre côté, le scénario « Chanvre » est le seul présentant un bénéfice économique et non un coût.

Ainsi, globalement, deux scénarios se distinguent. Le scénario « chanvre » est le seul scénario présentant un bénéfice économique, mais pour une très faible efficacité (82 mg/L à horizon 2050). Le scénario « luzerne » présente l'efficacité la plus importante (61 mg/L à horizon 2050), pour un ordre de grandeur de coût modéré par rapport aux autres scénarios (Tableau 30).

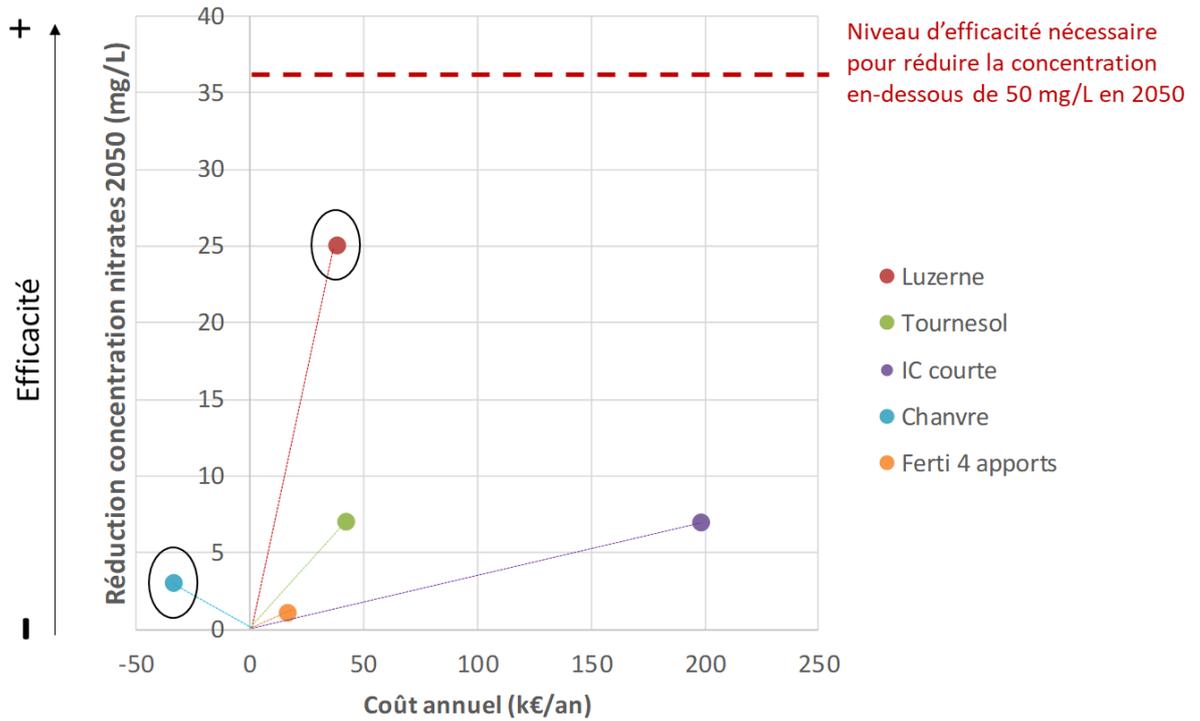


Figure 37 : Coût-efficacité des cinq scénarios d'action.

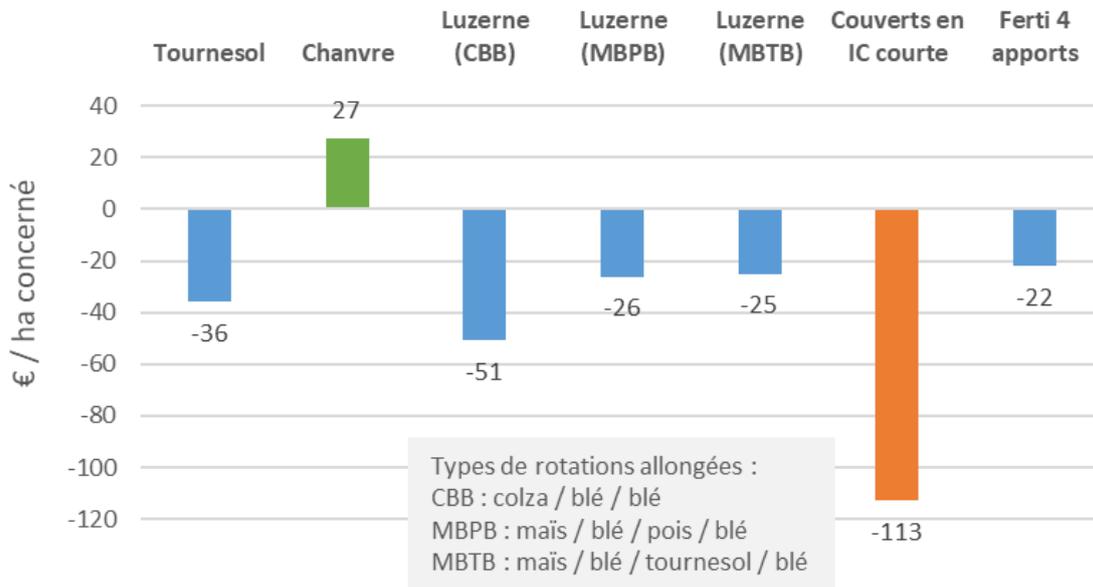


Figure 38 : Variation de marge semi-nette par hectare concerné par le scénario d'action, pour les différents scénarios. Le scénario « luzerne » a trois composantes, étant donné que trois types de rotations sont allongées.

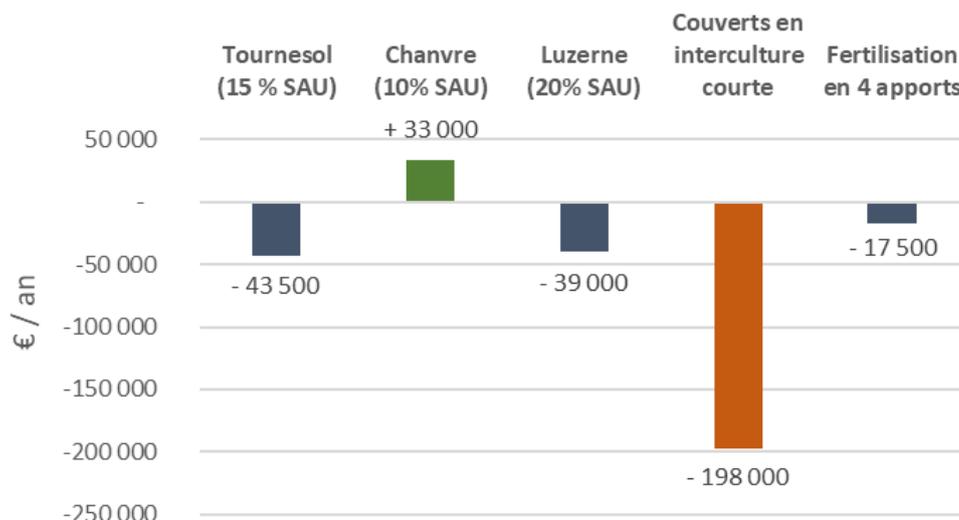


Figure 39 : Variation de marge semi-nette totale annuelle sur l'ensemble du territoire, pour les différents scénarios.

- **Impact de la variabilité des prix**

L'évaluation du coût moyen des actions a été réalisée pour des prix moyens. Afin de prendre en compte la variabilité des prix des produits agricoles, le coût des actions a été également évalué pour deux contextes de prix contrastés :

- « prix hauts » : on évalue le différentiel de marge semi-nette dans un contexte où les prix de vente de toutes les cultures seraient hauts ;
- « prix bas » : on évalue le différentiel de marge semi-nette dans un contexte où les prix de vente de toutes les cultures seraient bas.

Les résultats montrent une forte variabilité entre les situations prix hauts et prix bas, en particulier pour le scénario « luzerne » (Figure 40).

Dans un contexte de prix hauts, le coût des actions mises en place sera toujours plus lourd que dans un contexte de prix moyens. Le bilan du scénario « chanvre » devient ainsi négatif. Le bilan est d'autant plus négatif pour la luzerne que sa marge est stable. Ainsi, en contexte de prix hauts la marge de la luzerne ne sera pas plus élevée qu'en contexte moyen, alors que la marge des cultures remplacées par la luzerne aurait pu être très élevée (en particulier celle de la rotation « colza / blé / blé »).

Dans un contexte de prix bas, les actions mises en place peuvent par contre limiter la perte de marge. Il y a même un gain par rapport au scénario Pratiques actuelles pour la plupart des scénarios de modification d'assolement, à part pour le scénario « tournesol ». La stabilité de la marge de la luzerne contribue à la stabilisation de la marge globale de la rotation dans laquelle elle intervient.

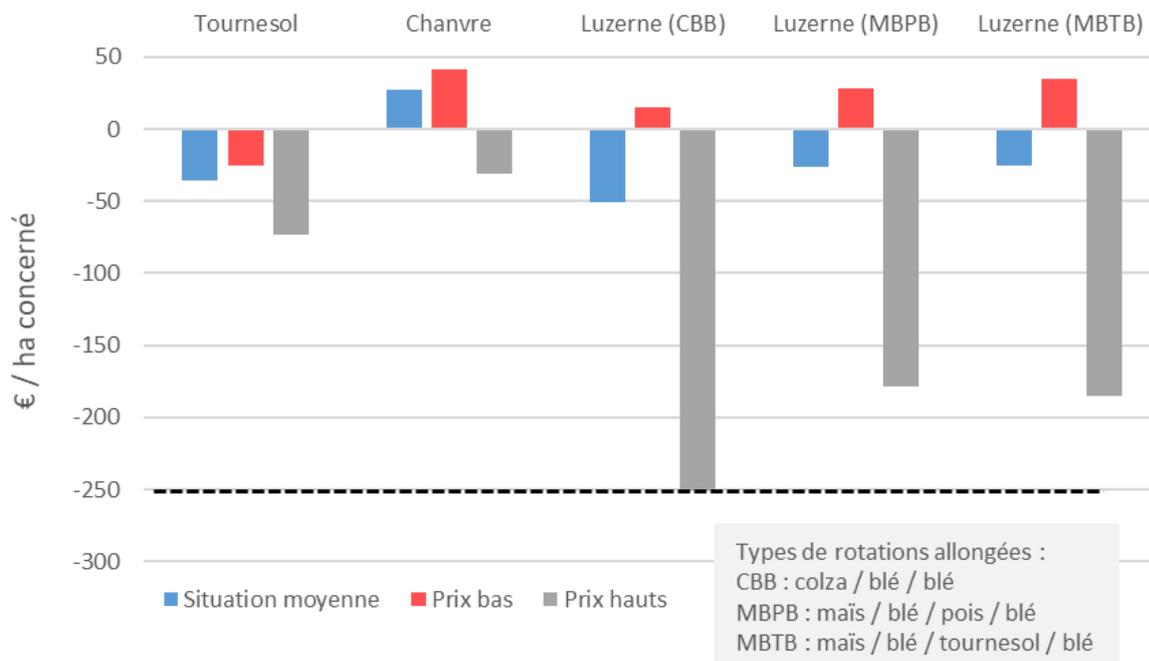


Figure 40 : Variation de marge semi-nette par hectare concerné par le scénario d'action, en fonction du contexte de prix (prix hauts, prix bas). Le scénario « luzerne » a trois composantes, étant donné que trois types de rotations sont allongées.

### 3.5.3. Évaluation de scénarios exploratoires complémentaires

Étant donné qu'aucun des cinq scénarios d'action retenus ne permettait de repasser sous le seuil des 50 mg/L de nitrates et donc d'atteindre l'objectif défini par le groupe de travail de « reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage de Pentvert », le BRGM a proposé et simulé quelques scénarios exploratoires complémentaires, afin de fournir plus d'information et d'éléments de réflexion aux acteurs locaux.

Tout d'abord, le système hydrologique présentant une inertie importante, il a été décidé de simuler un scénario « tout en herbe », c'est-à-dire un arrêt total des activités de production agricole, remplacées par de la prairie (100 % de la SAU). Le but de ce scénario théorique est de renseigner quant à l'inertie du système en l'absence de tout apport de nitrates.

En outre, il a été décidé de simuler des scénarios d'action basés sur les scénarios d'action co-construits par les acteurs mais avec un taux de mise en œuvre plus élevé. Les scénarios « tournesol », « chanvre » et « luzerne » ont donc été repris, mais en doublant le taux de mise en œuvre, c'est-à-dire en doublant les surfaces de ces cultures dans l'assolement. Ces scénarios sont notés « Tournesol x2 » (30 % de la SAU), « Chanvre x2 » (20 % de la SAU) et « Luzerne x2 » (40 % de la SAU). Les paragraphes suivants présentent les simulations BICHE de chacun de ces scénarios.

**a) Scénario « tout en herbe » (100 % de la SAU)**

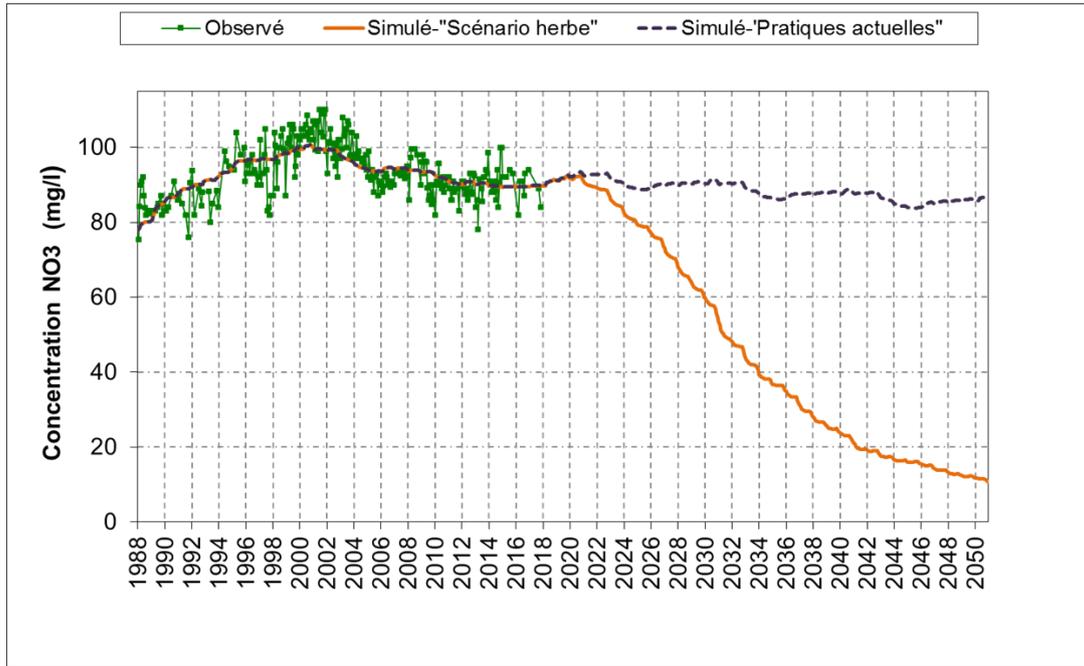


Figure 41 : Comparaison des simulations du scénario « tout en herbe » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

**b) Scénario « Tournesol x2 » (30% de la SAU)**

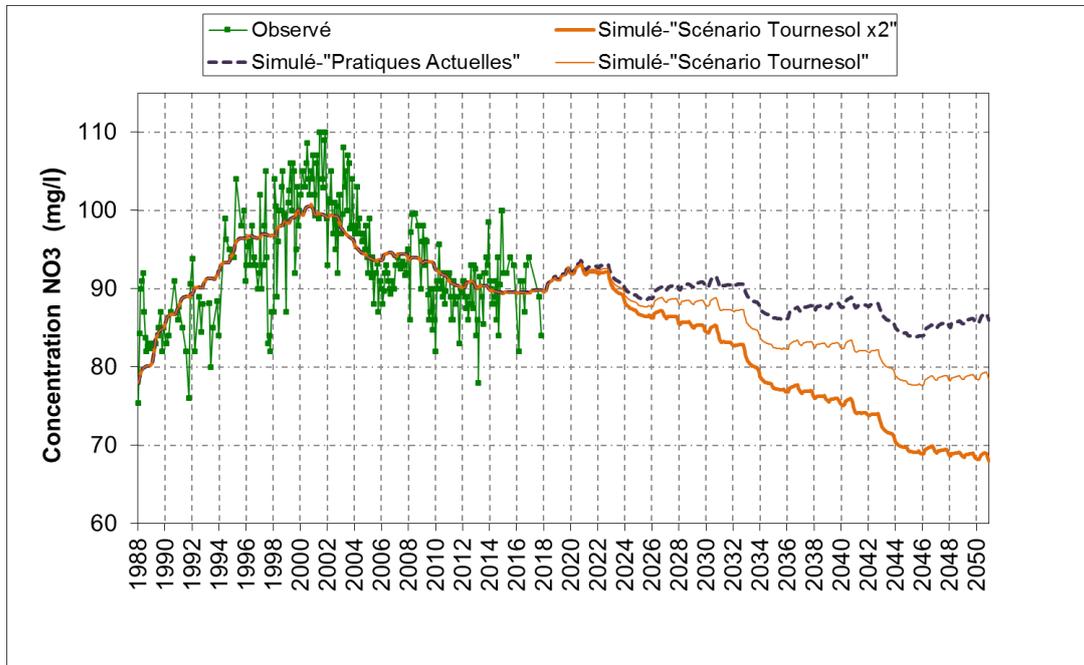


Figure 42 : Comparaison des simulations du scénario « tournesol x2 » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

**c) Scénario « chanvre x2 » (20 % de la SAU)**

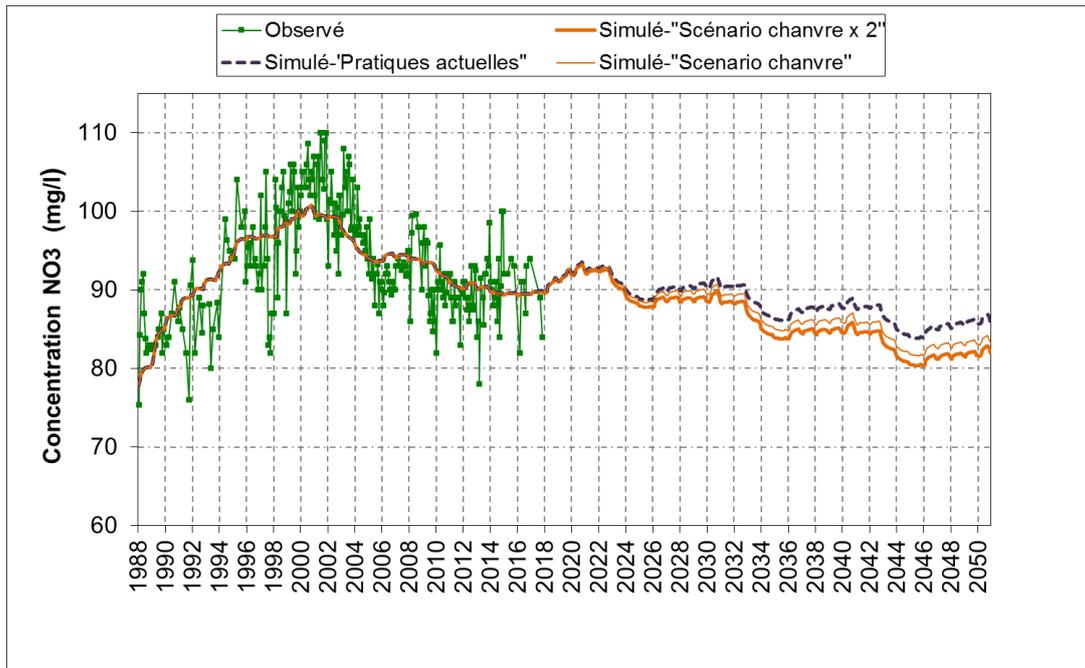


Figure 43 : Comparaison des simulations du scénario « chanvre x2c et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

**d) Scénario « luzerne x2 » (40 % de la SAU)**

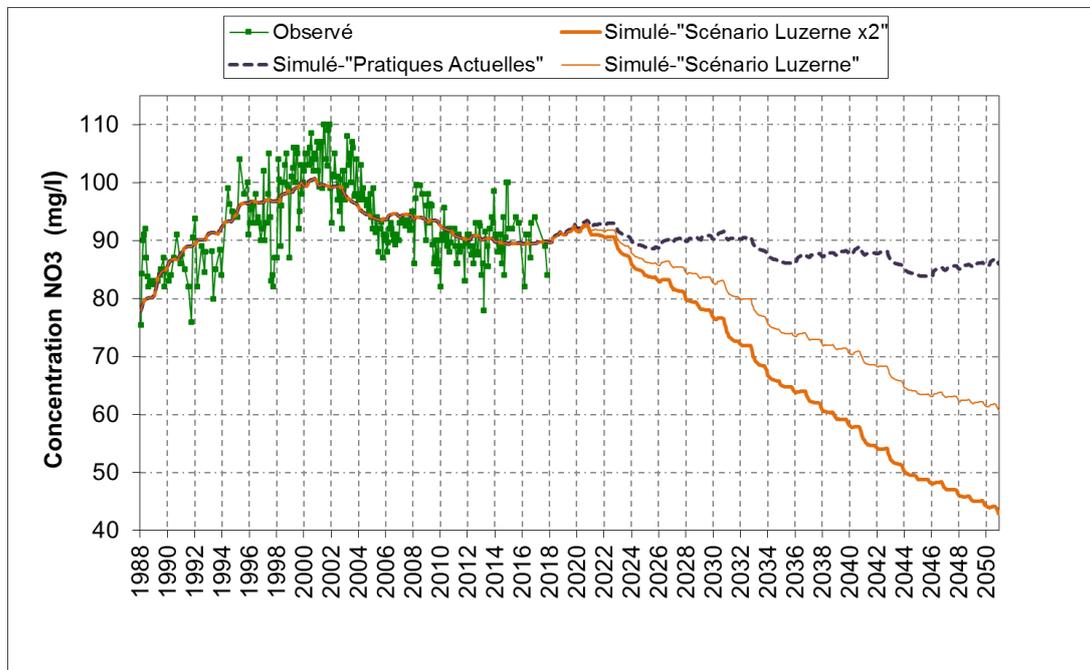


Figure 44 : Comparaison des simulations du scénario « luzerne x2 » et du scénario de référence « pratiques actuelles ».

### e) Synthèse

Deux scénarios exploratoires permettent de repasser sous le seuil des 50 mg/L de nitrates d'ici 2050 (Tableau 32, Figure 46) :

- 100 % de la SAU en herbe (concentration inférieure à 50 mg/L à partir de 2032) ;
- 40 % de la SAU en luzerne (concentration inférieure à 50 mg/L à partir de 2044).

Le coût de ces deux scénarios a été estimé. Pour le scénario « tout en herbe », on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de valorisation économique de l'herbe. Le coût total du scénario correspond donc à 100 % de la marge semi-nette de l'agriculture sur le territoire de Pentvert, soit 1,2 M€/an (Tableau 32).

Pour le scénario « luzerne x2 » (40 % de la SAU en luzerne), les surfaces de luzerne à intégrer sont très conséquentes. On considère que la rotation « maïs / blé / culture de printemps / blé » est allongée sur l'ensemble de la sole qu'elle occupe, et la rotation « colza / blé / blé » est allongée sur 46 % de la SAU (Figure 45). Étant donné les coûts par hectare calculés précédemment et le nombre d'hectares concernés par un allongement des rotations (Tableau 31), le coût total de ce scénario est de 81 000 €/an sur le territoire, soit 7 % de la marge semi-nette totale annuelle de l'agriculture sur le territoire.

Le scénario d'action « luzerne x2 » est de loin le plus coût-efficace des deux scénarios (Figure 46).

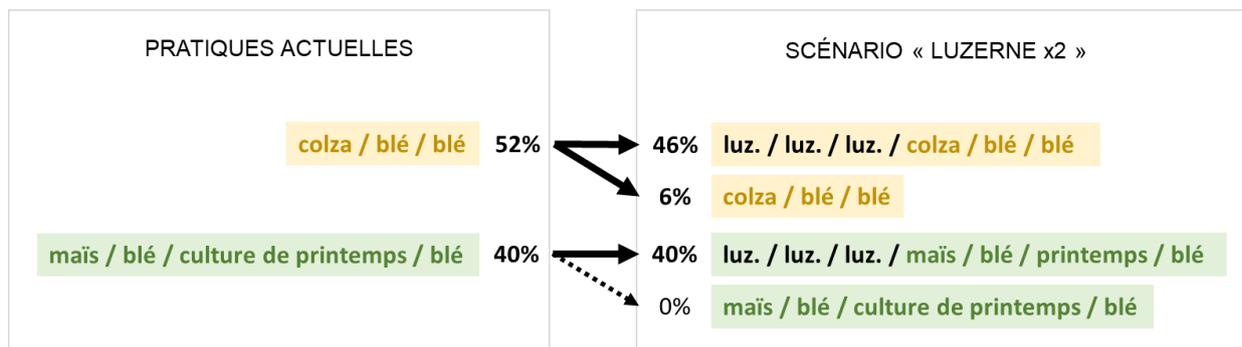


Figure 45 : Évolution de la part des différentes rotations dans la SAU (en %) pour le scénario « luzerne x2 ».

Rotation de base	« colza / blé / blé »	« maïs / blé / tournesol / blé »	« maïs / blé / pois / blé »
<b>Bilan de l'action, par hectare concerné par l'allongement de la rotation</b>	<b>- 51 €/ha/an</b>	<b>- 25 €/ha/an</b>	<b>- 26 €/ha/an</b>
Nombre d'hectares concernés	1106 ha	484 ha	484 ha

Tableau 31 : Bilan économique du scénario « luzerne x2 ».

		Herbe (100% SAU)	Luzerne x2 (40% SAU)	Tournesol x2 (30% SAU)	Chanvre x2 (20% SAU)
Efficacité	Concentration moyenne à horizon 2050 (mg/L)	11	44	69	82
	Passage sous le seuil des 50 mg/L	en 2032	en 2044	non	non
	Delta total par rapport au scénario Pratiques actuelles (mg/L)	- 77	-42	-18	-4
	Delta moyen annuel (mg/L/an)	-2,34	-1,32	-0,55	-0,13
Coût	Delta marge total de l'action sur le périmètre (€/an)	-1 200 000	-81 000		
Coût-Efficacité	€/mg/L/an	515 000	61 000		

Tableau 32 : Efficacité, coût et coût-efficacité des scénarios exploratoires, ordonnés par efficacité décroissante.

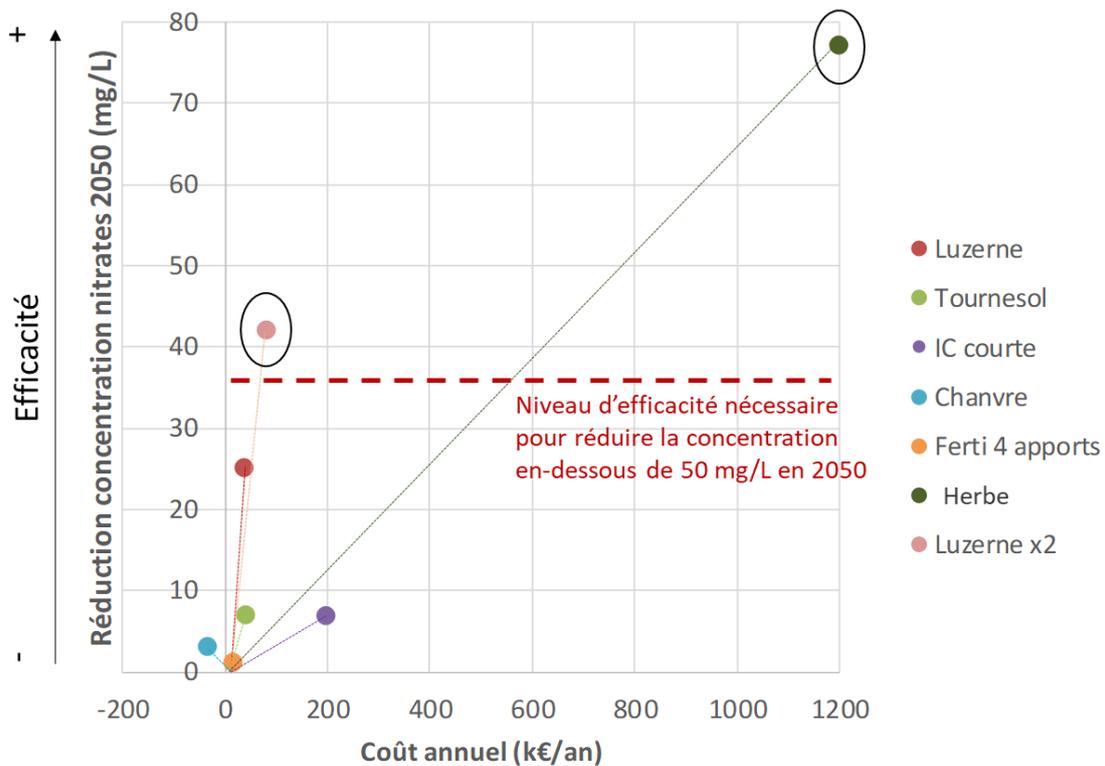


Figure 46 : Coût-efficacité des cinq scénarios d'action initiaux et des deux scénarios exploratoires efficaces.

### 3.5.4. Implications d'un Changement potentiel de zonage AAC

Au moment de la réalisation de ce projet, une troisième délimitation de l'aire d'alimentation de captage était en cours d'étude, avec une emprise de 11,5 km<sup>2</sup> (Figure 47). Cette partie analyse les implications potentielles de ce changement de délimitation sur le coût et l'efficacité des scénarios d'action proposés.

*La superficie de l'AAC est plus faible que la ZPAAC (-58 %), de même que le nombre d'exploitations (-52 %) et d'ilots agricoles concernés (-59 %) (Tableau 33). Cependant, les assolements de ces deux délimitations sont très similaires (Figure 48). Les actions sélectionnées à*

*l'échelle de la ZPAAC 2008 restent donc pertinentes à l'échelle de l'AAC 2018, avec des coûts unitaires de mises en œuvre similaires (en €/ha/an). Le coût total annuel de mise en œuvre des scénarios d'action diminue donc de 58 à 60 % selon les actions (Tableau 34). Par contre, l'efficacité estimée des actions est inchangée. En effet, le modèle Biche utilise en données d'entrée les proportions des différentes cultures sur le bassin, et non les superficies. Par conséquent, le ratio coût-efficacité diminue de 58 à 60 % selon les actions (Tableau 34 : Coût total annuel selon le zonage considéré.*

, Figure 49).

La mise en œuvre du scénario « Luzerne x2 » risque cependant d'être compromise avec le nouveau zonage, dont les superficies ne seraient pas suffisantes pour créer une filière.

	ZPAAC (2008)	AAC (2018)
Superficie	2720 ha	1150 ha
Nombre d'exploitations agricoles en partie situées sur le périmètre	83	40
Nombre d'îlots agricoles	312	128
Assolement	Pas de changement majeur entre les deux délimitations (Figure 48)	

Tableau 33 : Comparaison de la ZPAAC 2008 et de l'AAC 2018.

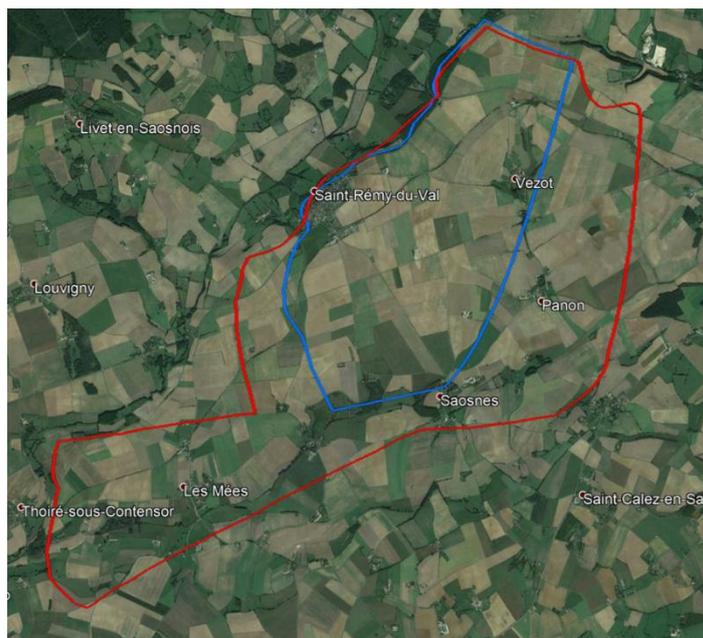


Figure 47 : Délimitation de la ZPAAC 2008 (en rouge) et de l'AAC 2018 (en bleu).

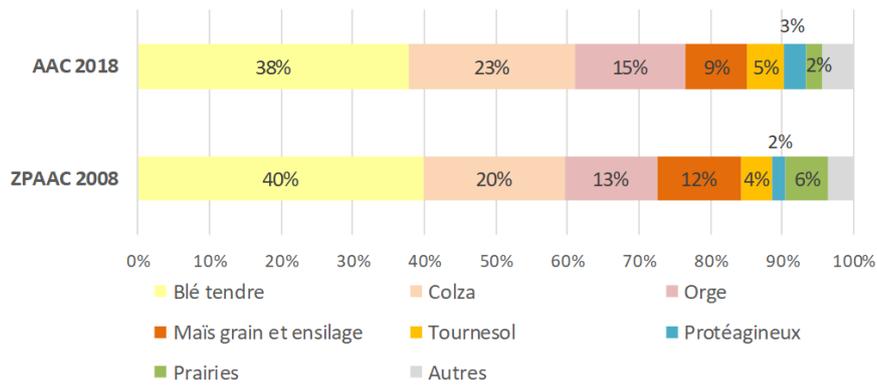


Figure 48 : Assolement de la ZPAAC 2008 et de l'AAC 2018 (données du RPG 2016).

Delta marge annuel total de l'action (€/an)	Luzerne	Luzerne*2	Tournesol	Chanvre	Couverts IC courte	Ferti 4 apports	Herbe
ZPAAC 2008	- 39 000	- 81 000	- 43 000	+ 33 000	- 198 000	- 17 500	-1 204 000
AAC 2018	- 16 000	- 33 000	- 18 000	+ 14 000	- 82 000	- 7 000	-498 000

Tableau 34 : Coût total annuel selon le zonage considéré.

Delta marge annuel total de l'action (€/an)	Luzerne	Luzerne*2	Tournesol	Chanvre	Couverts IC courte	Ferti 4 apports	Herbe
ZPAAC 2008	50 756	60 360	187 901	- 399 159	865 127	821 707	386 494
AAC 2018	20 982	24 953	77 677	- 165 010	357 638	339 689	159 774

Les coût-efficacités s'entendent par rapport au scénario *Pratiques actuelles*, à horizon 2050. Sauf pour le scénario Luzerne\*2 qui est évalué à horizon 2044, et le scénario Herbe à horizon 2032, lorsque les concentrations en nitrates repassent sous le seuil des 50 mg/L.

Tableau 35 : Coût-efficacité moyen sur la période 2018-2050 selon le zonage considéré.

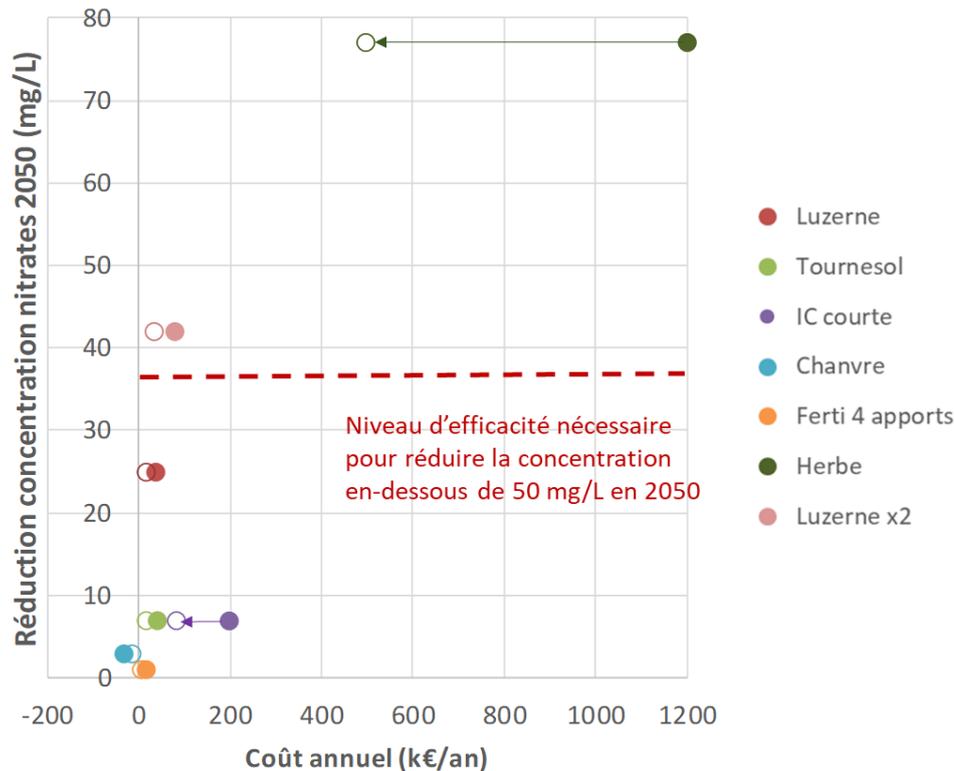


Figure 49 : Coût-efficacité des cinq scénarios d'action initiaux et des deux scénarios exploratoires efficaces (● ZPAAC 2008 ; ○ AAC 2018).

### 3.6. SYNTHÈSE

Après une première étape d'analyse historique des actions engagées et une évaluation des coûts associés, une démarche de co-construction de scénarios d'action de reconquête de la qualité de l'eau sur le captage de Pentvert a été mise en œuvre. Treize acteurs impliqués sur le territoire de Pentvert ont contribué à construire cinq scénarios d'action à explorer après avoir défini un objectif à atteindre. Ces scénarios d'action ont été évalués en termes de coût et d'efficacité. À noter que deux types de scénarios d'action ont été analysés : les cinq scénarios co-construits avec les acteurs, ainsi que des scénarios complémentaires exploratoires élaborés à partir des résultats de l'analyse coût-efficacité des scénarios précédents.

Les résultats de l'évaluation montrent que seuls deux des scénarios complémentaires exploratoires d'action sont efficaces et permettent d'atteindre l'objectif fixé par le groupe de travail, à savoir « reconquérir durablement la qualité de l'eau vis-à-vis des nitrates ». Il s'agit des scénarios « tout en herbe » et « luzerne x2 » (i.e. 40 % de la SAU en luzerne). Le scénario « tout en herbe » - dont le coût est estimé à 1,2 M€/an - présente cependant un mauvais ratio coût-efficacité, plus de huit fois supérieur à celui du scénario « luzerne x2 ».

Le scénario « luzerne x2 » est l'action avec le meilleur ratio coût-efficacité. Son coût de mise en œuvre est estimé à 81 k€/an (avec une hypothèse de valorisation en luzerne fourrage). Le ratio coût-efficacité du scénario pourrait être encore plus élevé avec une valorisation en luzerne déshydratée. Cependant, le développement d'une filière de valorisation nécessite une superficie minimale pour être viable économiquement (superficie supérieure à 400 ha (Comité de développement du Velay Volcanique, 2010)). S'il n'est pas possible de mettre en place une filière luzerne déshydratée (superficie disponible insuffisante, difficulté d'implantation d'un site

de déshydratation), l'alternative serait de cibler la mise en place de la luzerne sur les parcelles des secteurs les plus vulnérables, avec un débouché fourrage.

Ainsi, on identifie deux pistes d'action selon le périmètre retenu pour la mise en œuvre d'actions de reconquête de la qualité du captage de Pentvert :

- l'implantation de la luzerne avec le développement d'une filière de déshydratation. Il s'agit de l'action la plus coût-efficace. Son coût est évalué au maximum à 81 k€/an (hypothèse de prix de vente fourrage). Elle nécessite cependant un grand périmètre de mise en œuvre. Elle permet la poursuite de la dynamique collective engagée sur le territoire, le maintien du tissu agricole, et le développement de l'emploi local ;
- l'implantation de la luzerne avec une valorisation fourrage sur les secteurs où la vulnérabilité de la nappe est la plus forte vis-à-vis des nitrates. Son coût est évalué à environ 33 k€/an. Le ratio coût-efficacité est moins bon qu'avec une valorisation en déshydratation, mais cette action permettrait de minimiser les superficies à convertir et le nombre d'exploitations concernées. Cependant, le ciblage des actions sur un zonage plus restreint que celui sur lequel des efforts de reconquête ont été mis en œuvre depuis plus de 10 ans constitue un risque important de rupture de la dynamique collective engagée sur la ZPAAC dans le passé.

Le coût moyen annuel de ces actions est du même ordre de grandeur que celui des actions de reconquête mises en œuvre sur la période 1993-2017 (70 k€/an en moyenne, cf. section 3.3.4), et devrait permettre d'après les simulations BICHE de reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage à partir de 2043.

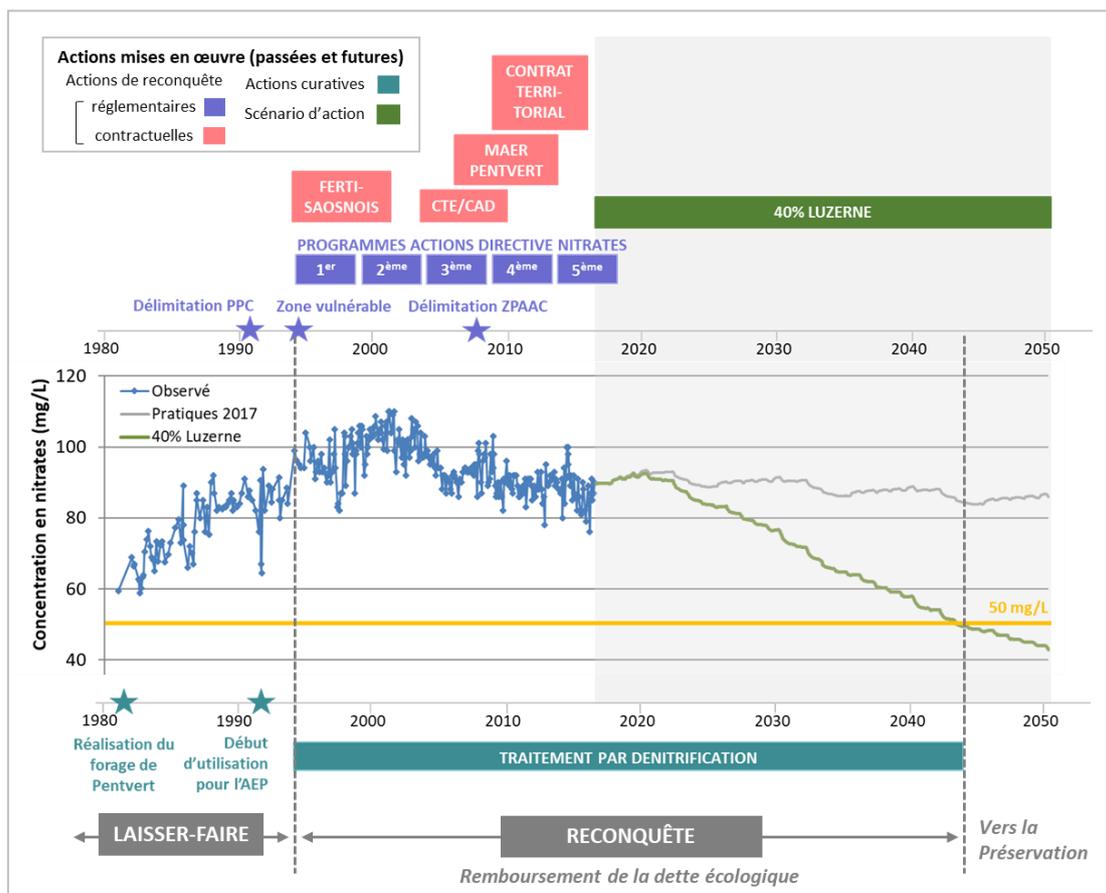


Figure 50 : Actions passées et potentielles futures mises en œuvre sur Pentvert, en lien avec la concentration en nitrates de l'eau du captage.

Ainsi, la trajectoire d'évolution du territoire de Pentvert peut se décomposer de la manière suivante (Figure 50): après une phase de *laisser-faire* d'une douzaine d'années (1981-1992), une phase de reconquête de la qualité de l'eau du captage se met en place, accompagnée d'actions curatives. D'après les résultats de simulation, cette phase *Reconquête + Curatif* durera une cinquantaine d'années (1993-2043), pour laisser ensuite place à une phase de préservation. Les coûts associés à cette phase de reconquête ne sont pas négligeables, ils sont estimés à environ 400 k€/an en moyenne, pendant 50 ans (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

En d'autres termes, la phase de *laisser-faire* a généré une « dette écologique » qui a commencé à être payée dès 1993 par la collectivité. Sur la période 1993-2017, cette dette a généré des coûts de 403 k€/an en moyenne. On estime que cette dette écologique sera effacée d'ici 2043, dès lors que la qualité de l'eau du captage sera rétablie durablement. Les coûts restant à payer pour effacer cette dette sont estimés entre 366 et 414 k€/an (entre 0,35 et 0,39 €/m<sup>3</sup>) en moyenne pendant 26 ans (sur la période 2018-2043).

		« Laisser-faire »	Curatif + Reconquête			Préservation	
		1980-1992	1993-2017	2018-2043		2044 - ...	
				Min	Max	Min	Max
CMA Reconquête	k€/an	-	70	33	81	-	
CMA Curatif	k€/an	-	333	333	333		
CMA Préservation	k€/an	-	-	-	-	33	81
<b>Total</b>	<b>k€/an</b>	-	<b>403</b>	<b>366</b>	<b>414</b>	<b>33</b>	<b>81</b>
Volume prélevé	Mm <sup>3</sup> /an	1,68	1,57	1,06*	1,06*	1,06*	1,06*
CMA Reconquête	€/m <sup>3</sup>	-	0,04	0,03	0,08	-	-
CMA Curatif	€/m <sup>3</sup>	-	0,21	0,31	0,31	-	-
CMA Préservation	€/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	0,03	0,08
<b>Total</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	-	<b>0,25</b>	<b>0,34</b>	<b>0,39</b>	<b>0,03</b>	<b>0,08</b>
Superficie de l'AAC	ha	-	2700	1150	2700	1150	2700
CMA Reconquête	€/ha/an	-	26	29	30	-	-
CMA Curatif	€/ha/an	-	123	123	290	-	-
CMA Préservation	€/ha/an	-	-	-	-	29	30
<b>Total</b>	<b>€/ha/an</b>	-	<b>149</b>	<b>152</b>	<b>320</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
* nous faisons ici l'hypothèse d'un volume prélevé qui reste constant depuis 2015. Or, d'après les échanges durant l'atelier d'avril 2019, il est très probable que les volumes prélevés diminuent fortement sur le long terme, du fait de la création de nouveaux forages et d'une usine de décarbonatation par le SIDPEP.							

Tableau 36 : Synthèse des coûts associés aux actions mises en œuvre sur le territoire de Penvert sur la période 1980-2050.



## 4. Conclusion

Les travaux menés sur les territoires de Plourhan et de Pentvert, deux captages utilisés pour la production d'eau potable, présentant une problématique nitrate et situés dans des contextes hydrogéologiques et de pression agricole contrastés, ont permis de faire ressortir deux phases distinctes en termes de choix de protection des captages :

- une phase de *laisser-faire* de 10 à 20 ans, pendant laquelle aucune action spécifique de protection des eaux souterraines n'est mise en œuvre, avec par conséquent une dégradation progressive de la qualité de l'eau des captages ;
- une phase de *reconquête* de la qualité de l'eau qui a démarré au début des années 1990, avec mise en œuvre d'actions de reconquête réglementaires et contractuelles, ainsi que des actions curatives. Cette phase de reconquête de la qualité est toujours en cours sur les deux territoires.

Dans ces deux situations, l'évaluation économique couplée à des simulations BICHE, modèle global qui permet de simuler l'évolution de la qualité des eaux vis-à-vis du paramètre nitrate, a permis de mettre en évidence la « dette écologique » liée au choix du *laisser-faire* pendant une période de temps plus ou moins longue. Cette dette s'est progressivement réduite par la mise en œuvre d'actions curatives et de reconquête de la qualité de l'eau coûteuses pour la collectivité dès le début des années 1990 :

- sur Plourhan, cette dette a déjà généré des coûts de 20 k€/an en moyenne sur la période 1992-2015, et les coûts restant à payer pour effacer la dette sont estimés à 35 k€/an (0,41 €/m<sup>3</sup> prélevé) en moyenne pendant 10 ans (sur la période 2016-2025). L'évaluation menée sur Plourhan souligne également que la reconquête durable de la qualité des eaux souterraines peut favoriser toute une diversité de services écosystémiques, en plus du bénéfice pour l'usage AEP ;
- sur Pentvert, la dette écologique a déjà généré des coûts de 400 k€/an sur la période 1993-2017 en moyenne et les coûts restant à payer pour l'effacer sont estimés entre 366 et 414 k€/an (entre 0,35 et 0,39 €/m<sup>3</sup> prélevé) en moyenne pendant 26 ans (sur la période 2018-2043) si le scénario d'action avec introduction de 40 % de luzerne dans la SAU est mis en œuvre.

D'un point de vue méthodologique, ce rapport propose une approche innovante couplant analyse économique, modélisation de l'évolution des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines à l'aide du modèle global BICHE (type « boîte noire ») et participation des acteurs permettant d'évaluer la dette écologique de territoires à enjeu AEP ayant laissé se dégrader la qualité de l'eau de leur captage pendant une période plus ou moins longue. L'analyse historique a permis de mettre en évidence la diversité des actions engagées en réponse à la dégradation de la qualité de l'eau des captages, et les coûts associés. Le couplage de l'analyse économique et de la modélisation BICHE a permis d'estimer le temps et les coûts nécessaires pour effacer la dette écologique si les pratiques actuelles (assolement, fertilisation etc.) étaient maintenues. Dans un second temps, le couplage de l'analyse économique et de la modélisation (sur la base de scénarios co-construits avec les acteurs locaux) a permis d'identifier les actions à mener dans le futur afin de reconquérir durablement la qualité de l'eau au moindre coût (analyse coût-efficacité).

Les résultats obtenus pour les deux sites étudiés montrent des implications économiques et des temporalités très différentes sur les deux territoires, en lien avec leurs caractéristiques hydrogéologiques (inertie plus ou moins forte des aquifères : ici formations de socle et sédimentaires), les systèmes de production agricole et les choix historiques de protection des captages (rachat de parcelles et mises en herbe, accompagnement de la fertilisation...). Ces

résultats ne sont donc pas transférables tels quels sur d'autres territoires. En revanche, la démarche est tout à fait transposable à d'autres sites, quel que soit leur contexte hydrogéologique et les types de pression agricole et leur évolution au cours du temps.

## 5. Bibliographie

- AELB** (2011). Amélioration des connaissances sur les fonctions et usages des zones humides : évaluation économique sur des sites tests. Le cas des zones humides de la baie de Saint-Brieuc. Rapport d'étude. Actéon.
- Agreste** (2011). Enquête - Pratiques Culturelles 2011. Les Dossiers, n°8. 77 p
- Agreste** (2018). Données en ligne - Available on internet on <https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-web/disaron/%21searchurl/searchUiid/search.disar>.
- AgroLuz** (2016). La luzerne en Champagne-Ardenne.
- Arrouays D., J. Balesdent, J.C. Germon, P.A. Jayet, J.F. Soussana, P. Stengel** (2002). Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? Synthèse du rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.
- Baran N., Gutierrez A., Lopez B., Surdyk N., Gourcy L.** (2011). Transfert de nitrates à l'échelle du bassin d'alimentation de captages d'eau souterraine du bassin Loire-Bretagne : modélisation et datation. Rapport final. BRGM/RP-60280-FR. 147 p., 94 ill., 2 ann.
- Baran N., Berho C., Grémont M., Gutierrez A., Herivaux C., Le Guern C., Lucassou F., Neverre N., Ollivier P., Petelet-Giraud E., Portal A., Schroetter J.M., Sidoli P., Surdyk N., Thiery D.** (2019). Qualité des eaux souterraines (nitrates et produits phytosanitaires) du bassin Loire-Bretagne : des approches expérimentales aux outils de gestion. Rapport final BRGM/RP-69499-FR.
- Berger Y., Conde J., Hubert C., Rathouis P., Roussel F.** (2015). Evaluation du volet préventif du plan 2010-2015 de lutte contre les algues vertes en Bretagne. Bilan et propositions. CGEDD et CGAAER. Disponible à l'adresse : [agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/evaluation\\_du\\_volet\\_preventif\\_du\\_plan\\_2010-2015\\_de\\_lutte\\_contre\\_les\\_algues\\_vertes\\_en\\_bretagne\\_-\\_bilan\\_et\\_propositionspdf.pdf](http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/evaluation_du_volet_preventif_du_plan_2010-2015_de_lutte_contre_les_algues_vertes_en_bretagne_-_bilan_et_propositionspdf.pdf)
- BIPE** (2015). Impact économique, social, culturel et environnemental de la filière chasse en France, Fédération nationale des Chasseurs.
- CA 22** (1996). Périmètres de protection autour des captages de la Ville Hélios et Beaugouyen, Suivi agricole – Bilan de 4 années, mars 1996.
- CA 22** (2014). Suivi agricole, Périmètre de la Ville Hélios, Communauté de Communes Sud Goëlo, Campagne 2014, octobre 2014.
- CA 35** (2009). Cultiver du chanvre, une question de fibre. Terragricoles de Bretagne.
- CA 51, Coop de France Déshydratation, & CDER Marne** (2013). Enquête culturelle 2011.
- CA 53** (2016). Synthèse des marges cultures 2015-2016.
- CA 72** (2015). Contrat Territorial du Captage de Pentvert. Bilan évaluatif du Contrat Territorial 2009-2014.
- CA 72** (2018). Mes itinéraires marges 2017-2018.
- CA 72** (2000). Ferti-Saosnois. Maîtriser l'azote d'origine agricole pour une meilleure qualité de l'eau. Rapport d'étape. Octobre 2000.
- CAS** (2009). Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique. 399 p
- CCSG** (2016). Bilan des activités 2016, Communauté de communes Sud Goëlo.
- CG 22** (2015). Rapport sur les installations de production d'eau potable de la Ville Hélios-Ville Saut, Communauté Sud Goëlo.

- CG 72** (2012). Mise à jour sur Schéma Départemental d'Alimentation en Eau Potable.
- CGDD**. (2015). Nature et richesse des nations. In Collection " La Revue" du Service de l'Economie, de l'Evaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD).
- CGEDD, CGAAER** (2012). Bilan des connaissances scientifiques sur les causes de prolifération de macroalgues vertes, Application à la situation de la Bretagne et propositions.
- Colas** (2014). Les proliférations d'algues sur les côtes métropolitaines, Le point sur, CGDD, n°180, Janvier 2014.
- Comité de développement du Velay Volcanique** (2010). Dossier de candidature. Pôle d'Excellence Rurale. Bio'Luz du Velay (Saint-Paulien, 43). Déshydratation de luzerne par cogénération, un projet innovant, durable et intégré à l'environnement.
- Commission européenne, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Centre National pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles** (2008). Evaluation ex post du Plan de Développement Rural National, Soutien à l'agroenvironnement, Rapport d'évaluation, Décembre 2008.
- Conseil scientifique algues vertes** (2011). Plan gouvernemental de lutte contre les algues vertes, Avis du Comité Scientifique sur les projets de territoires sur la saisine de Monsieur le Préfet de la Région Bretagne du 6 décembre 2010, Février 2011.
- Cultivar** (2017). Luzerne : un facteur de réduction du risque. Une vieille dame très moderne et pleine d'attraits !
- Dossier de presse** (2013). Unité collective de séchage de luzerne, un projet pilote unique en France, Lescheroux.
- Dupouey J.L., Pignard G., Badeau V. et al.** (2002). Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises, Forêt Wallone, 57, 6-19.
- FEADER** (2007). Conversion à l'agriculture biologique (CAB) et maintien de l'agriculture biologique (MAB).
- FNAUT** (2013). Dépenses supportées par les voyageurs selon les différents modes de transport.
- Hérivaux C., Grémont M.** (2019). Valuing a diversity of ecosystem services: The way forward to protect strategic groundwater resources for the future? Ecosystem Services, 35. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.011>
- Hérivaux C., Grémont M., Cadilhac L.** (2017). Implications économiques des choix de protection des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable, Hors-Série n°38. Sciences Eaux & Territoires.
- IFN** (2005). La forêt française : Un puits de carbone ?, n°7, ISSN : 1769-6755.
- INRA** (2013). Vers des agricultures à hautes performances. Volume 1. Analyse des performances de l'agriculture biologique. Inra. 368 pages.
- INSEE** (2017). Les exploitations en agriculture biologique : quelles performances économiques ?
- La Chanvrière** (2016). Le chanvre une plante d'exception.
- LOG HYDRO, ACDDUC** (2016). Pérennisation de la production AEP communautaire, Bilan de fonctionnement des sites de production d'eau potable de Beaugouyen et de la Ville Hélio sur la commune de PLOURHAN et établissement d'un programme de travaux pluriannuel, Rapport provisoire n°1 - V.PRO1, 102 p.

**Lousteau** (2004). Séquestration du Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. Rapport Final du Projet CARBOFOR, Juin 2004.

**MAAF** (2015). Les aides à la conversion et au maintien de l'agriculture biologique, Cap sur la PAC 2015-2020.

**Maaf, IGN** (2016). Indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolitaines, édition 2015, Résultats. Maaf-IGN, Paris, 343 p.

**Martel P., Lucas V.** (2016). CUMA Luzerne de Bresse Lescheroux (Ain), Fiche descriptive.

**MEEM** (2016). Le prix du carbone – Levier de la transition énergétique.

**PAC** (2018). Aides couplées, dispositions en vigueur à partir de la campagne 2018.

**Préfecture des Côtes-d'Armor** (2015). Dossier Départemental sur les Risques Majeurs.

**Puydarrieux P., Devaux J.** (2013). Quelle évaluation économique pour les services écosystémiques rendus par les prairies en France métropolitaine? n°89 de la collection "Etudes et documents" du SEEIDD du CGDD, 40p.

**Rinaudo J-D., Noel Y., Marchal J-P, Lamotte C.** (2013). Evaluation du coût de mobilisation de nouvelles ressources en eau souterraine dans l'Ouest de l'Hérault. Rapport BRGM-RP-61794-FR.

**Soltner, D.** (2003). Les bases de la production végétale. Sciences et Techniques Agricoles, Sainte-Gemmes-sur-Loire. 472 p

**Surdyk N., Gutierrez A., Thiery D.** (2019). Transfert de nitrates à l'échelle du bassin d'alimentation de captages d'eau souterraine du bassin Loire-Bretagne : actualisation des modélisations et essais de simplification Rapport final. BRGM/RP-69118-FR.

**Syndicat Mixte du Pays de Saint-Brieuc** (2011). Programme d'action – Projet de territoire à très basse fuites d'azotes – Annexe 3.

**Terres Innovia** (2017). Guide chanvre 2017.

**Thiery D.** (2014). Logiciel GARDENIA, version 8.2. Guide D'utilisation. BRGM/RP-62797-FR. 137p

**Thiery D.** (2015). Validation du code de calcul GARDÉNIA par modélisations physiques comparatives. BRGM/RP-64500-FR.

**Thiery D., Seguin J.J.** (1985). First model of nitrate transfert of a river basin with a lumped moded- application to Rembercourt bassin (France). Hydrogeology in the Service of Man, Memoires of the 18th Congress of the International Association of Hydrogeologists, Cambridge, 1985,

**Thiery, D.** (1990). Modélisation des transferts de nitrates dans un bassin versant - validation du modèle BICHE et analyse de sensibilité. BRGM/RR-30976-FR. 78 p



## **Annexe 1**

### **Fiches Action synthétisant les résultats du groupe de travail, complétés par « Le point de vue du modélisateur » - site de Pentvert**





## Quelles actions techniques simuler dans le cadre du projet POLLDIFF ?

Document de travail

Version du 26 septembre 2017

Rédacteurs : Noémie Neverre, Nicolas Surdyk, Cécile Hérivaux (BRGM)

*Ce document fait suite à l'atelier « Quels scénarios d'actions de reconquête de la qualité de l'eau sur le territoire de Pentvert », organisé par le BRGM le 12 septembre 2017 à la Chambre d'Agriculture de la Sarthe, dans le cadre du projet POLLDIFF. Un des objectifs du projet est de proposer un nombre limité (3 à 5) de scénarios d'action visant à reconquérir durablement la qualité de l'eau du captage de Pentvert vis-à-vis des nitrates. Ces scénarios seront simulés avec l'outil de modélisation BICHE<sup>1</sup>.*

*Les participants à l'atelier ont proposé une quarantaine d'actions techniques potentielles de reconquête de la qualité de l'eau du captage de Pentvert. Ces actions ont été regroupées en catégories, qui ont permis de constituer trois groupes de travail :*

- Groupe de travail n°1 : Implantation de nouvelles cultures et/ou de prairie/forêt ;
- Groupe de travail n°2 : Modification des rotations et gestion des couverts ;
- Groupe de travail n°3 : Pratiques de fertilisation et amélioration des connaissances.

*Les fiches qui suivent reprennent le contenu des restitutions de chaque groupe, selon les points suivants : A) Description technique ; B) Taux de mise en œuvre, C) Modalités possibles de mise en œuvre ; D) Obstacles à la mise en œuvre ; E) Mesures d'accompagnement à prévoir. Des encadrés bleus exprimant « le point de vue du modélisateur » ont été ajoutés dans chaque fiche, afin d'apporter des éléments sur la faisabilité techniques de simulation avec BICHE et sur les effets attendus en termes d'amélioration de la qualité de l'eau.*

*Nous espérons que ces fiches sont fidèles aux restitutions de l'atelier. Nous vous invitons à nous faire part de vos suggestions pour les compléter d'ici le 9 octobre 2017, notamment sur les points A) et B) de manière à préciser les actions techniques qui pourraient être simulées dans le cadre du projet POLLDIFF.*

<sup>1</sup> Le modèle BICHE permet de simuler les effets de changements de pratiques et/ou d'usages du sol sur la concentration en nitrates dans la nappe. Il permet de décrire les grandes tendances d'évolution des concentrations, sans toutefois permettre de décrire les fluctuations de quelques mg/L à court pas de temps.



## GRUPE 1 – NOUVELLES CULTURES

### A - Description technique

Deux types d'actions d'introduction de nouvelles cultures dans l'assolement sont à différencier :

(1) Introduction d'une culture qui existe déjà sur le territoire, mais que l'agriculteur concerné n'a pas l'habitude d'utiliser.

Par exemple : tournesol, porte-graine, lin, prairie

(2) Introduction d'une culture non présente sur le territoire.

Par exemple : luzerne, chanvre, agroforesterie

Ces deux types d'actions ne seront pas confrontés aux mêmes contraintes.

#### Le point de vue du modélisateur

L'outil de modélisation ne permet pas, dans son état de développement actuel, de simuler l'introduction de l'agroforesterie. Néanmoins, si cette action est jugée pertinente à tester sur le territoire de Pentvert, avec un taux de mise en œuvre important, un investissement complémentaire de modélisation peut être envisagé. Toutes les autres cultures proposées peuvent être modélisées.

Il faudra préciser les types de cultures porte-graines. Selon le type de culture il y aura ou non un impact sur les concentrations en nitrates dans l'eau de la nappe.

### B - Taux de mise en œuvre

Pour le taux de mise en œuvre, il faut trouver un équilibre entre :

- un taux de mise en œuvre suffisamment important pour avoir un impact en termes de nitrates,
- la faisabilité de la mise en œuvre sur le territoire.

Les ordres de grandeur en termes de part de la SAU et part des exploitations proposés – pour chaque culture introduite individuellement - sont les suivants (il faudrait déterminer des fourchettes hautes et basses) :

Culture	Tournesol	Porte-graine	Lin	Prairie / forêt	Chanvre	Luzerne	Agroforesterie
% de SAU	10	10	5	2-3	8-10	20	-
Fourchette basse	...	...	...	...	...	...	...
Fourchette haute	...	...	...	...	...	...	...
% des exploitations	30	5	7	-	10	30	5
Fourchette basse	...	...	...	...	...	...	...
Fourchette haute	...	...	...	...	...	...	...



Ces introductions de nouvelles cultures pourraient également être cumulées. À voir quelles introductions peuvent être cumulées et quel serait l'impact de ce cumul. Dans un premier temps on peut déjà travailler sur les cultures individuellement.

Le point de vue du modélisateur

Pour la prairie, le taux de mise en œuvre proposé (de moins de 5%) est trop faible pour voir un impact sur les nitrates à brève échéance. On pourrait simuler 3 taux de mise en œuvre croissants : 5, 10 et 15% de la SAU.

Il faudra bien préciser si les taux de mise en œuvre proposés correspondent à une augmentation de la surface par rapport à la situation actuelle (ex : +10% de la SAU sera consacrée au tournesol) ou bien à la surface totale à atteindre (ex : 10% de la SAU en tournesol au total, y compris les surfaces actuelles).

Il est également possible de préciser l'horizon temporel de la mise en œuvre. Par exemple : atteindre 10% de la SAU en tournesol dès la première année, ou bien atteindre 10% à l'horizon 5 ans.

Il est possible de simuler différentes combinaisons de cultures à introduire, si souhaité. Par exemple :

- Développer une seule filière (ex : à l'horizon 5 ans, atteindre 20% de la SAU en chanvre)
- Combiner plusieurs nouvelles cultures (ex : à l'horizon 5 ans, atteindre 10% de SAU en tournesol et 5% en lin)

**C - Modalités possibles de mise en œuvre**

À définir

- Contrats avec des distributeurs
- Agroforesterie : pourrait peut-être se faire dans le cadre de la mise en place de la compensation écologique / compensation carbone

**D - Obstacles à la mise en œuvre**

- L'introduction de nouvelles cultures dans l'assolement est contrainte par les systèmes d'exploitation en place.

Pour les éleveurs, certaines cultures sont utilisées pour l'atelier élevage (par exemple orge ou pois pour les porcs, maïs ensilage pour les vaches laitières) et ne peuvent pas être remplacées par une nouvelle culture. Ces exploitations ne pourront introduire une nouvelle culture que s'ils disposent d'une SAU suffisamment grande.

D'autres obstacles sont spécifiques aux types de nouvelles cultures introduites :

- Cultures déjà présentes sur le territoire : débouchés

Pour qu'un agriculteur puisse introduire une nouvelle culture, il faut que les débouchés sur le territoire soient suffisants pour la production supplémentaire. Il peut y avoir une contrainte au

- Cultures non présentes sur le territoire : absence de filière (lointaine ou inexistante)

S'il faut créer une nouvelle filière, ce sera un obstacle important.



niveau des distributeurs.

- Porte-graines : l'introduction est contrainte par la disponibilité d'installations de stockage et de séchage.

- Agroforesterie : temps de retour sur investissement

Un agriculteur qui se lance dans l'agroforesterie aura un retour dans 20-30 ans, c'est différent des autres cultures où le retour est plus rapide.

- Chanvre : contraintes réglementaires

Le chanvre est une culture contractualisée et réglementée. Il est interdit aux producteurs de chanvre de ressemer leur propre semence, il faut s'approvisionner auprès d'un organisme agréé.

#### E - Mesures d'accompagnement à prévoir

À définir

- Développement d'un débouché local (public ou privé)

Pour le chanvre par exemple : les collectivités peuvent décider de développer l'utilisation du chanvre sur le territoire dans le secteur du bâtiment (constructions et rénovations en chanvre), pour aider à développer la filière.

Mesures à définir.



## GRUPE 2 – ASSOLEMENT / ROTATION – INTERCULTURES / GESTION DES COUVERTS

### A - Description technique

Choisir des cultures qui permettent de rallonger la rotation, et qui nécessitent un moindre apport d'azote. Par exemple : tournesol, pois, luzerne.

- Pour le tournesol et le pois, la culture peut être introduite dans une rotation assez courte Blé/Orge/Colza sur 3 ans, ce qui rallongera la rotation d'un an.
  - Pour la luzerne c'est différent car elle est plantée pour plusieurs années (par exemple 3 ans).
- ⇒ Pour le tournesol et le pois (cultures de printemps), cela implique une nouvelle gestion de l'interculture.

#### Le point de vue du modélisateur

Pour les assolements :

Le groupe de travail peut proposer au modélisateur des scénarios de modification de l'assolement de la façon suivante :

- Soit proposer une rotation modifiée, par exemple : passer de Colza/Blé/Orge à Colza/Blé/Pois/Blé, ou à Colza/Blé/Orge/Tournesol/Blé.
- Soit proposer directement une surface de culture, par exemple : passer à 20% de la SAU en tournesol.

Le groupe de travail peut exprimer le scénario de modification d'assolement de la façon qui lui convient le mieux. Les deux formats peuvent être implémentés sans problème par le modélisateur.

Pour l'interculture :

- L'outil de modélisation sera peu sensible à des changements fins de gestion de couverts (ex : variation de rendement du couvert), par contre on aura bien une différence entre une situation avec couvert et une situation sans couvert.
- Le groupe de travail peut faire des propositions pour la gestion de l'interculture (par exemple, modification des dates de début/de fin de l'interculture).

À noter : L'outil de modélisation fonctionne avec un pas de temps mensuel.

### B - Taux de mise en œuvre

Tester 3 taux de mise en œuvre : 5%, 10% et 15% de la SAU.



### C - Modalités possibles de mise en œuvre

À définir.

### D - Obstacles à la mise en œuvre

- Manque de connaissances techniques pour les cultures peu utilisées sur le territoire. Par exemple pour la luzerne.
- Existence de débouchés pour les cultures nouvellement introduites : c'est surtout le marché qui va guider l'introduction ou la non-introduction, les conditions économiques sont prédominantes. S'il n'y a pas de filières et de débouchés, il ne sera pas possible d'introduire, économiquement parlant, des nouvelles cultures.

### E - Mesures d'accompagnement à prévoir

- Accompagnement technique
  - o Essais expérimentaux et acquisition de connaissances pour des cultures peu utilisées sur le territoire comme la luzerne.
- Accompagnement financier si les actions mises en place entraînent une réduction de la marge des agriculteurs sur le cycle de rotation
- Études de marché pour les filières



## GROUPE 3 – PRATIQUES DE FERTILISATION

### A - Description technique

Les actions proposées sont les suivantes :

- (1) Moduler le fractionnement : retarder le 1<sup>er</sup> apport et retarder le dernier apport.
- (2) Adapter la forme d'azote apportée (à déterminer en fonction des choix de fractionnement).

Pour calibrer au mieux ces actions, il est également nécessaire d'effectuer des analyses de reliquats d'azote (voir E – Mesures d'accompagnement).

### B - Taux de mise en œuvre

Mise en œuvre proposée pour la culture du blé, sur 50% de la sole.

#### Le point de vue du modélisateur

- (1) L'outil de modélisation fonctionne avec un pas de temps mensuel. Il ne sera donc sensible à des modifications de calendrier que si l'apport est décalé d'un mois à un autre.
- (2) Il faudrait préciser ce qui est attendu du changement de forme d'azote. Si c'est l'effet retardateur du passage à la forme solide qui est recherché, on aura à nouveau cette contrainte du pas de temps mensuel du modèle. L'effet retardateur ne peut être pris en compte que s'il décale d'un mois.

Le modélisateur propose de prendre en compte un nouveau type d'action, qui peut être simulé avec le modèle : la modification des doses lors des différents apports. Par exemple : diminuer la dose du 1<sup>er</sup> ou du 2<sup>ème</sup> apport, et augmenter celle du 3<sup>ème</sup> apport ou du 4<sup>ème</sup> apport, selon les objectifs de taux de protéine et de rendement.

⇒ Le groupe de travail peut faire des propositions de dates et doses d'apport.

Le scénario de référence utilisé par le modélisateur est 100% de fractionnement sur la sole de blé tendre d'hiver, en 3 apports. Un 1<sup>er</sup> apport au 21 février (40 kg/ha), un 3<sup>ème</sup> apport au 7 avril (40 kg/ha), et le reste de la dose au moment du 2<sup>ème</sup> apport, au 12 mars (40 à 100 kg/ha, selon les besoins).

### C - Modalités possibles de mise en œuvre

À définir.

Par exemple : mise en place de réseaux de suivi de parcelles pour l'analyse des reliquats d'azote, où l'agriculteur choisit la parcelle où il souhaite réaliser les analyses et les reliquats sont pris en charge financièrement.

### D - Obstacles à la mise en œuvre

- Possible baisse des rendements et de la qualité

La modification du fractionnement va impacter la teneur en protéine et le rendement. Cet obstacle est à différencier selon le système d'exploitation : les agriculteurs qui ont des objectifs de qualité pour des



contrats meuniers n'auront pas les mêmes contraintes que des agriculteurs qui font du blé fourrager pour l'alimentation animale.

- Habitudes à faire évoluer

Certains agriculteurs travaillent uniquement avec des engrais liquides, notamment parce qu'ils ont les moyens techniques pour le faire. Il y aura un coût pour passer à des engrais solides.

- Coût des actions

De façon générale, le coût de la mise en œuvre des actions sera un obstacle pour les agriculteurs.

- Gestion du temps

Le timing des analyses de reliquats d'azote peut être délicat, on ne peut pas forcément anticiper longtemps à l'avance la date du prélèvement, il faut pouvoir être réactif.

### E - Mesures d'accompagnement à prévoir

Du point de vue technique, il faut prévoir une amélioration du suivi des reliquats d'azote et une réflexion sur les types de reliquats à analyser. Beaucoup d'essais ont été mis en place sur Pentvert depuis plusieurs années (modification des dates d'apport et des doses), sur lesquels il serait possible de s'appuyer. Les mesures suivantes ont été proposées :

- Mise en place d'un réseau de suivi de parcelles ;
- Analyser non seulement des reliquats après hiver, mais également avant maïs, post-récolte, pré-lame drainante, etc ;
- Ne pas travailler uniquement sur une culture prise individuellement, mais aussi sur les successions culturales (en particulier quand il y a des protéagineux).

Il faut également des mesures de communication et de transfert de connaissances autour de ces mesures techniques :

- Information des agriculteurs (démontrer la pertinence des actions envisagées) ;
- Accompagnement des agriculteurs dans la mise en place des actions (Exemple de Raymond Reau d'Agro-transfert qui était venu aider les agriculteurs à réfléchir dans le cadre du programme d'action).

Du point de vue économique, des mesures de suivi et d'aides sont à prévoir :

- Suivi de l'impact économique de la mise en œuvre des actions pour les agriculteurs ;
- Mise en place de mesures incitatives, par exemple des aides financières au changement (Exemple des aides au retard de la date de fauche de certaines pâtures pour la préservation d'espèces d'oiseaux).

Il est également nécessaire d'améliorer la connaissance sur les temps de transferts des nitrates. Il y a des nitrates dans le sol qui proviennent d'anciennes pratiques et qui continuent à être remobilisés, il serait intéressant de savoir dans quelle mesure ces anciennes pratiques contribuent à la concentration en nitrates dans la nappe aujourd'hui.

## **Annexe 2**

### **Données technico-économiques validées utilisées pour l'évaluation des scénarios d'action de reconquête de la qualité de l'eau sur le territoire de Pentvert**



**Reconstitution des marges semi-nettes des différentes cultures :**

	CHANVRE
Rendement paille (t/ha)	7,5
Rendement graine (t/ha)	1 (une année sur deux)
Prix de vente paille (€/t)	130
Prix de vente graine (€/t)	800
<b>Produit brut moyen (€/ha)</b>	<b>1375</b>
Coûts de semis (€/ha)	200
Coûts de fertilisation (€/ha) : vinasse	53
<b>Total intrants/charges opérationnelles (€/ha)</b>	<b>253</b>
Aides couplées PAC (€/ha, campagne 2018)	133
<b>Marge brute moyenne (€/ha)</b>	<b>1256</b>
Coûts de récolte (€/ha)	290
Coûts de séchage (€/ha)	120
Coûts de stockage (€/ha)	110
<b>Marge semi-nette moyenne (€/ha)</b>	<b>736</b>



	BLÉ	MAIS Fourrage	MAIS Grain	COLZA	TOURNESOL	POIS de printemps	LUZERNE
<b>Rendement moyen (q/ha - ou tMS/ha)</b>	<b>72,5</b>	<b>19,7</b>	<b>110</b>	<b>35</b>	<b>27</b>	<b>37</b>	<b>10</b>
Rendement fourchette basse	70	-	87	32	22	32	8
Rendement fourchette haute	85	-	100	40	30	40	12
<b>Prix de vente moyen (€/tonne) *</b>	<b>153</b>	<b>65</b>	<b>136</b>	<b>344</b>	<b>328</b>	<b>218</b>	<b>90</b>
Prix de vente fourchette basse	137	-	114	297	293	207	0
Prix de vente fourchette haute	209	-	178	454	405	255	0
<b>Produit brut moyen (€/ha)</b>	<b>1107</b>	<b>1281</b>	<b>1492</b>	<b>1205</b>	<b>886</b>	<b>808</b>	<b>900</b>
<b>Coûts de semis (€/ha)</b>	<b>100</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>55</b>	<b>90</b>	<b>110</b>	<b>50</b>
<b>Coûts de fertilisation (€/ha) : N</b>	<b>179</b>	<b>63</b>	<b>158</b>	<b>158</b>	<b>53</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Dose totale N (unité)	170	60	150	150	50	0	0
Prix de l'engrais N (€/unité)	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
<b>Coûts de fertilisation (€/ha) : PK</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>62</b>	<b>92,5</b>	<b>217</b>
Intrants "Autre"	Soufre	N organique		Soufre	Bore		Chaulage
<b>Coûts intrants "Autre" (€/ha)</b>	<b>10</b>	<b>120</b>		<b>15</b>	<b>4</b>		<b>30</b>
<b>Coûts de phytosanitaires (€/ha)</b>	<b>170</b>	<b>101</b>	<b>101</b>	<b>165</b>	<b>133</b>	<b>165</b>	<b>48</b>
Désherbage	95,75	72,5	72,5	100	110	100	48
Insecticide	12,5	28	28	25	23	30	
Régulateurs	6,5						
Fongicides	55			40		35	
<b>Coûts de l'irrigation (€/ha)</b>			<b>100</b>				
<b>Total intrants/charges opérationnelles (€/ha)</b>	<b>483</b>	<b>469</b>	<b>573</b>	<b>453</b>	<b>342</b>	<b>368</b>	<b>303</b>
Aides couplées PAC (€/ha, campagne 2018)						100	100
<b>Marge brute moyenne (€/ha)</b>	<b>624</b>	<b>812</b>	<b>919</b>	<b>753</b>	<b>544</b>	<b>540</b>	<b>655</b>
Coûts de récolte (€/ha)	110	433,4	110	110	110	110	200
Coûts de séchage (€/ha)			203		15		
<b>Total autres coûts (€/ha)</b>	<b>110</b>	<b>433</b>	<b>313</b>	<b>110</b>	<b>125</b>	<b>110</b>	<b>200</b>
<b>Marge semi-nette moyenne (€/ha)</b>	<b>514</b>	<b>379</b>	<b>607</b>	<b>643</b>	<b>420</b>	<b>430</b>	<b>455</b>

\* : Moyenne basée sur les données de l'étude de groupe 2017 de la CA72 sur 5 ans, en excluant les 2 années extrêmes (prix min et prix max)



**Fractionnement de la fertilisation :**

	<b>Coût d'un apport supplémentaire</b>	<b>Commentaire</b>
Coût d'un passage supplémentaire (€/ha)	15	Pulvérisation, avec remplissage
Coût supplémentaire en pilotage (€/ha)	7	1 analyse JUBILE supplémentaire par parcelle

**Couverts en interculture courte :**

	<b>Coût du couvert</b>	<b>Commentaire</b>
<b>Coûts d'implantation du couvert - Total (€/ha)</b>	<b>68,0</b>	
Implantation - Semences (€/ha)	46,5	Mélange "SANI COUV", à 15 kg/ha
Amortissement déchaumeur et semoir (€/ha)	15,6	Semoir sur déchaumeur
Amortissement tracteur(€/ha)	3,3	de 15,33 à 17,96 €/h, à 5 ha/h
Carburant (€/ha)	2,5	de 12,17 à 13,18 €/h, à 5 ha/h
<b>Coûts de destruction du couvert - Total (€/ha)</b>	<b>18,5</b>	Destruction mécanique (déchaumeur à disques)
Amortissement déchaumeur (€/ha)	12,6	
Amortissement tracteur (€/ha)	3,3	de 15,33 à 17,96 €/h, à 5 ha/h
Carburant (€/ha)	2,5	de 12,17 à 13,18 €/h, à 5 ha/h
<b>Coûts phytosanitaires (€/ha)</b>	<b>19,2</b>	Parfois anti-limaces. Métaldéhyde, 4 kg/ha, à 4,8 €/kg
<b>Travail supplémentaire (€/ha)</b>	<b>7,2</b>	Implantation : 5 ha/h, destruction : 5 ha/h, à 18,11 €/h
<b>Coût total du couvert</b>	<b>112,9</b>	Ce coût peut être réduit si, après un colza, on a recours aux repousses de colza plutôt que de semer un couvert.

**Tableaux des dates moyennes de semis et de récolte pour les différentes cultures et Tableaux des doses moyennes de fertilisation et dates d'apport pour les différentes cultures :**

**Blé (avec fertilisation organique)**

(40% de la surface Blé)

Date semis	Date récolte
20-oct	21-juil

Date fertilisation	Dose
05-mars	84
25-mars	43
Apport Organique (minéralisé au printemps)	43
Apport total	170

**Blé (sans fertilisation organique)**

(60% de la surface Blé)

Date semis	Date récolte
20-oct	21-juil

Date fertilisation	Dose
15-févr	43
05-mars	84
25-mars	43
Apport total	170

**Colza (avec fertilisation organique)**

(40% de la surface Colza)

Date semis	Date récolte
25-août	01-juil

Date fertilisation	Dose
10-mars	100
Apport Organique (minéralisé au printemps)	50
Apport total	150

**Colza (sans fertilisation organique)**

(60% de la surface Colza)

Date semis	Date récolte
25-août	01-juil

Date fertilisation	Dose
28-févr	75
10-mars	75
Apport total	150

**Maïs Fourrage (sec)**

(40% de la surface Maïs)

Date semis	Date récolte
20-avr	25-oct

Date fertilisation	Dose
05-mai	60
Apport Organique (minéralisé au printemps)	90
Apport total	150

**Maïs grain (irrigué)**

(60% de la surface Maïs)

Date semis	Date récolte
------------	--------------

Date fertilisation	Dose
--------------------	------

20-avr	25-oct
--------	--------

20-avr	45
05-mai	105
<b>Apport total</b>	<b>150</b>

### Pois de printemps (sec)

Date semis	Date récolte
15-févr	14-juil

Date fertilisation	Dose
-	0

### Tournesol

Date semis	Date récolte
15-avr	07-sept

Date fertilisation	Dose
24-avr	50

### Couverts en interculture longue

Date implantation	Date destruction
15-sept	15-janv



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction Eau, Environnement, Procédés et Analyses**

**Unité Nouvelles Ressources en Eau et Economie**

1039 rue de Pinville

34000 Montpellier – France

Tél. : 04 67 15 79 80