



**HAL**  
open science

## **Projet MarsTNT: etude complémentaire de modélisation TNT2 de l'impact de 3 scénarios d'abattement des flux d'azote**

Francois Oehler, Patrick Durand

### ► **To cite this version:**

Francois Oehler, Patrick Durand. Projet MarsTNT: etude complémentaire de modélisation TNT2 de l'impact de 3 scénarios d'abattement des flux d'azote. [Rapport de recherche] INRAE. 2021, pp.31. <hal-03344135>

**HAL Id: hal-03344135**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03344135v1>**

Submitted on 14 Sep 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Projet MARSTNT

## Étude complémentaire de modélisation TNT2 de l'impact de 3 scénarios d'abattement des flux d'azote

**Mars 2021**

**François Oehler, SCHEME**

**Patrick Durand, INRAE**

Réf: FO-001-21

Version : 1.0

## Sommaire

1 Les objectifs de l'étude complémentaire.....	3
2 Application des scénarios.....	3
2.1 Le scénario « baisse de la surface cultivée » (BSC).....	3
2.2 Scénario Pratiques Agricoles Passées (PAP).....	10
2.3 Scénario Basses Fuites d'azote (BFN).....	13
3 Synthèse.....	21
4 Annexes.....	23
4.1 Gouessant.....	23
4.2 Gouet.....	26
4.3 Anse d'Y ffiniac.....	29

---

# 1 LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE

---

Cette étude vient compléter le précédent travail «Modélisation du développement des algues vertes en Baie de Saint-Brieuc au moyen du modèle littoral MARS3D-Ulves couplé au modèle agro-hydrologique TNT2 », réalisé dans le cadre du « Programme 162 : des interventions territoriales de l'état, action 02 « Eau et agriculture en Bretagne ».

Ce qui est exposé dans ce rapport sera inclus dans le rapport principal. Nous invitons le lecteur à ce référer au rapport de l'étude principale pour les détails contextuels et méthodologiques non spécifiques au présent travail.

L'objectif était de tester trois scénarios de changements de pratiques agricoles et d'occupation du sol, sur les bassins versants de la baie de Saint-Brieuc : le Gouessant, le Gouet et le groupe « Anse d'Y ffiniac ».

Les scénarios sont les suivants :

- scénario « baisses de la surface cultivée » : scénario de remplacement progressif des surfaces en rotation par un couvert maximisant le piégeage d'azote, en partant des zones de bas de versant.
- scénario « Pratiques Agricoles Passées » : Et si l'on avait gardé les pratiques agricoles de fin des années 90, quels fuites d'azote aurions-nous observé sur la décennie 2008-2018 ?
- scénario « Agriculture à basses fuites d'azote » : scénario de mise en œuvre de pratiques agricoles préservant la production globale tout en limitant au maximum les fuites d'azote

## 2 APPLICATION DES SCÉNARIOS

---

Pour rappel, les surfaces simulées des trois bassins versants sont :

- Gouessant : 420 km<sup>2</sup> (52 % de la surface totale)
- Gouet : 256 km<sup>2</sup> (32 % de la surface totale)
- Anse d'Y ffiniac : 130 km<sup>2</sup> (16 % de la surface totale)

Le comportement global des flux vers la baie est principalement influencé par le Gouessant et le Gouet.

### 2.1 Le scénario « baisse de la surface cultivée » (BSC)

---

Ce scénario est construit de la façon suivante , à partir des pratiques et occupations du sol actuels, tels que reconstruits à partir des données disponibles:

- identification des zones à convertir : Dans le modèle TNT2, les transferts hydrologiques

sont déterminés grâce à un indice topographique qui est le rapport entre la surface drainée (le « mini-bassin versant » de chaque point) et la pente : plus ce rapport est élevé, plus le point considéré est susceptible de recevoir plus d'eau que ce qu'il peut évacuer, donc d'être souvent humide. C'est le même type d'indice qui est utilisé pour cartographier les zones humides potentielles. Le principe de ce scénario est donc de délimiter les x% de surface ayant l'indice le plus élevé (x variant de 0 à 100%), et de sélectionner dans cette surface toutes les parcelles cultivées ou avec des prairies exploitées.

- Toute cette surface agricole (donc, en pratique, tout ce qui n'est pas bois/forêt, jachère permanente ou zone urbaine) est convertie en prairie fauchée non fertilisée non pâturée. Ce type d'utilisation du sol présente l'avantage d'être rapidement capable de prélever des quantités importantes d'azote et de maintenir un certain prélèvement aussi longtemps que les conditions climatiques le permettent en fin d'automne et début de printemps (contrairement à une zone boisée, qui met du temps à s'établir, restitue sous forme de litière la majorité de l'azote prélevé et ne prélève rien en l'absence de feuilles).
- Les changements d'occupation du sol s'appliquent à partir d'une année 2019 reconstituée, jusqu'au 31/12/2027, en utilisant comme référence les pratiques agricoles de la période 2012-2018 (~PLAV1).
- les chroniques climatiques sur la période 2019-2036 sont une copie des années 2001-2018
- La référence est le scénario non modifié des pratiques actuelles (cf. étude principale)

Ce scénario est le plus simple techniquement et le plus efficace (qui impacte le moins de surface et qui agit le plus rapidement) à mettre en œuvre pour simuler une baisse des flux vers la baie. Cela permet d'évaluer en première approche l'ampleur des modifications à apporter en fonction des objectifs à atteindre, et d'évaluer le temps de réponse du bassin versant dans les meilleures conditions.

Les figures 1 et 2 présentent l'abattement des flux d'azote à l'exutoire (annuels et estivaux) pour l'ensemble des trois bassins versants, en fonction du temps et pour l'ensemble des pourcentages d'occupation du sol modifiés. On observe une variabilité inter-annuelle importante. En moyennant sur 3 ans (figures 3 et 4), la baisse potentielle des flux est atteinte à 80 % en ~5 ans, avec ensuite une progression plus lente sur les 5 années suivantes. Comme attendu, le scénario est très efficace dès les premiers pourcentages modifiés, avec >50 % de l'efficacité maximale à 15 ans atteint avec le scénario « 10 % de surface convertie ». En effet, les surfaces converties en premier correspondent aux zones humides permanentes ou affectées temporairement par une remontée de la nappe souterraine, ce qui permet au couvert mis en place de capter une partie de l'azote transitant par cette nappe, et d'intercepter une partie des écoulements rapides venant de l'amont. Au-delà de ~20 % de surfaces converties, des zones peu actives (pas d'interactions sol-nappe) sont converties, amenant des gains réduits et avec un temps de réponse plus lent (zones éloignées du cours d'eau). On entre alors dans un régime de « dilution » de la pollution azotée liée à une baisse globale des apports agricoles, proportionnelle aux surfaces converties, et sans effet d'interception supplémentaire.

Remarquons que l'efficacité n'est pas la même dans les trois bassins, et est notamment plus faible pour Yffiniac (voir figure 5), relativement au Gouet et au Gouessant, qui eux réagissent de façon similaire. Néanmoins, l'Anse d'Yffiniac ne représentant que 16 % de la surface, cela a peu

d'impact. Ces variations sont dues au fait que chaque bassin versant a sa configuration propre (topographique, agronomique, climatique, etc.), et illustre le fait que certains sites seront plus sensibles à certaines mesures que d'autres.

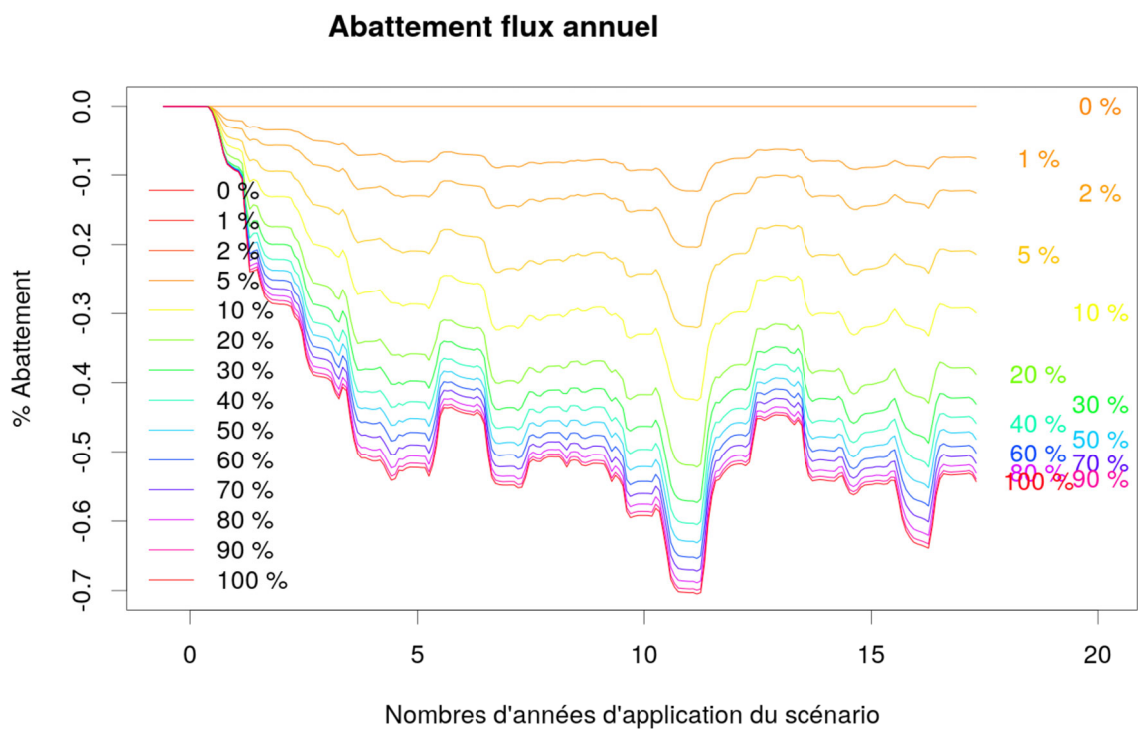


Figure 1: Scénario BSC, ensemble des trois bassins versants, Abattement annuel en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

### Abattement flux estivaux

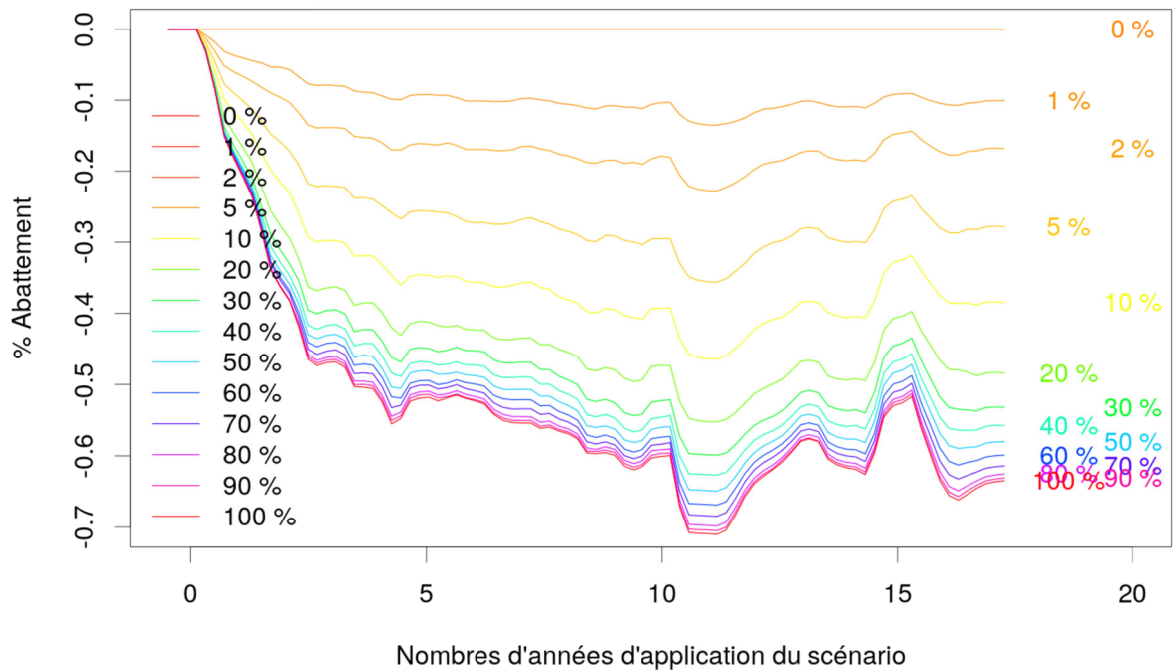


Figure 2: Scénario BSC, ensemble des trois bassins versants, Abattement pour la saison estivale (mai-sept.) en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

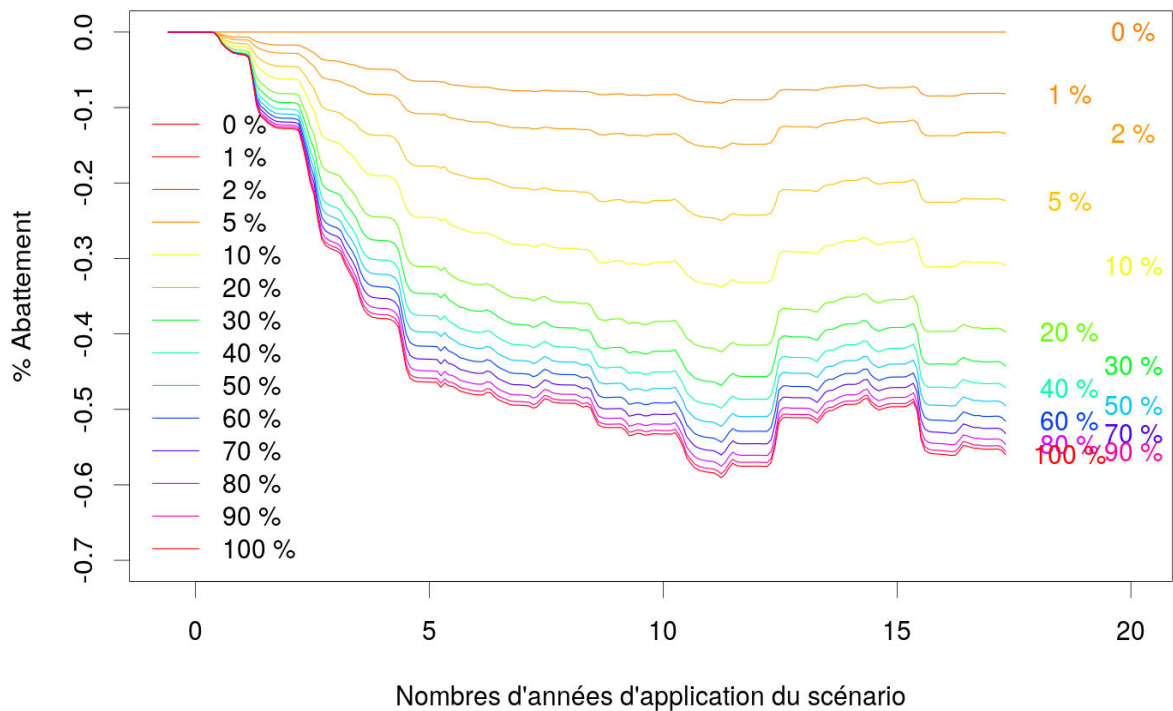


Figure 3: Scénario BSC, ensemble des trois bassins versants, Abattement annuel en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

### Abattement flux estivaux moyennes sur 3 ans

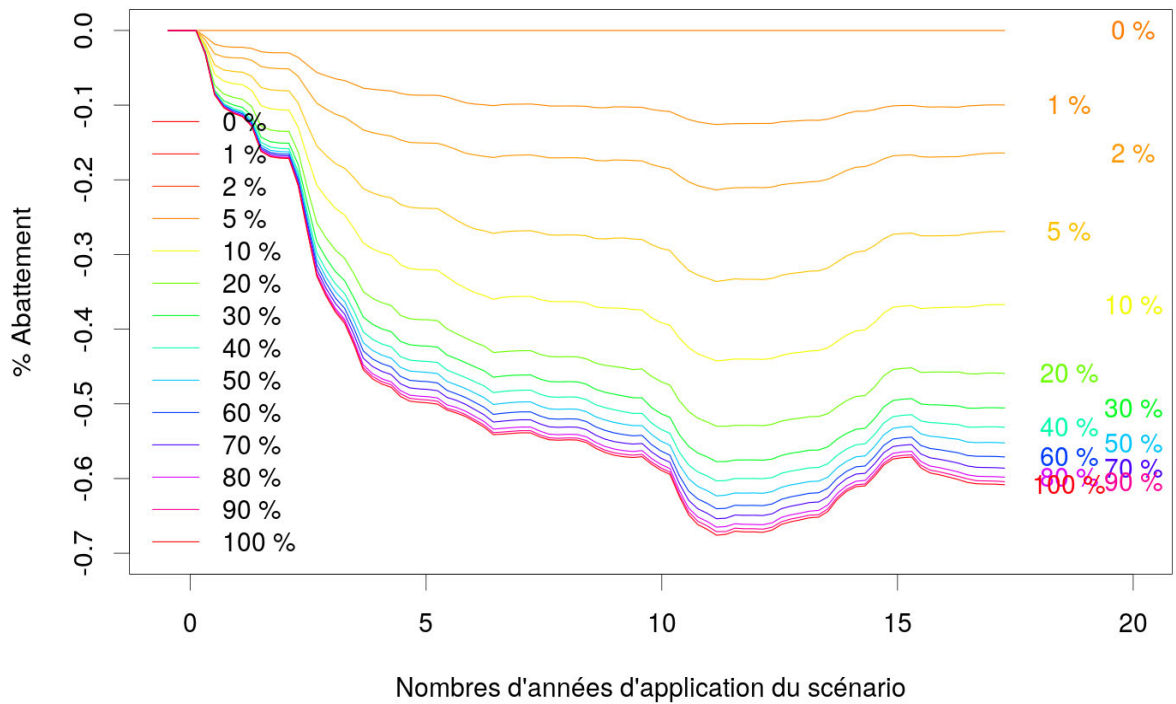


Figure 4: Scénario BSC, ensemble des trois bassins versants, Abattement pour la saison estivale (mai-sept.) en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

### Abattement flux annuel

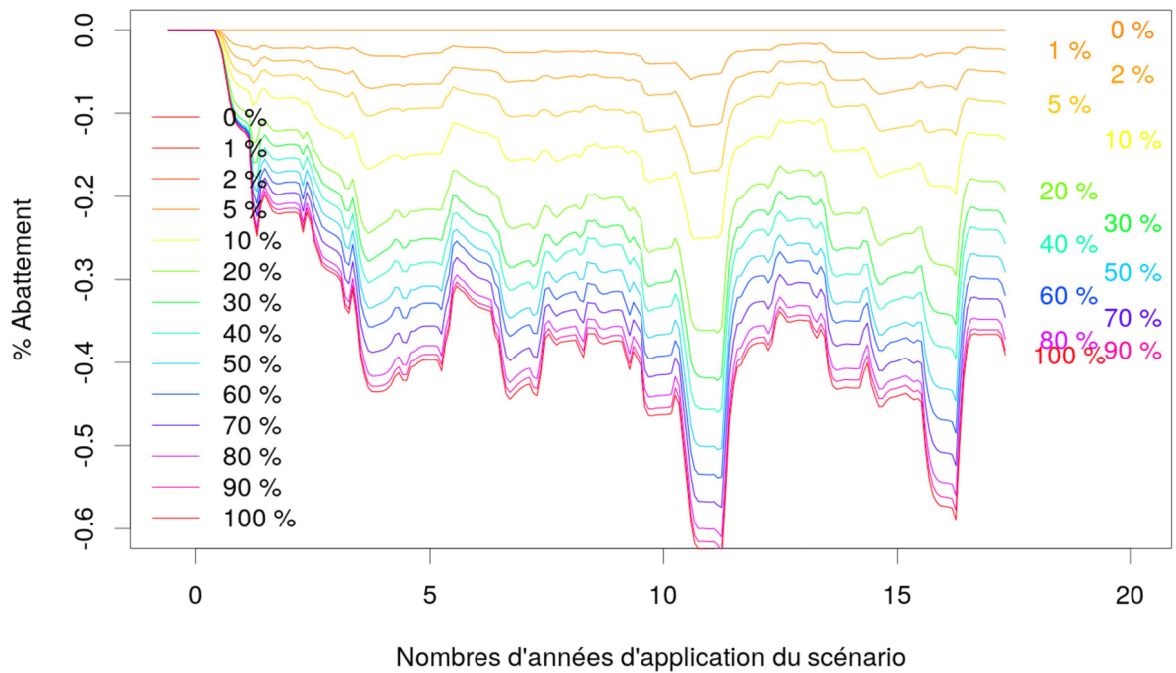


Figure 5: Scénario BSC Y ffiniac. Abattement annuel en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

Scénario 10 % | Surface (SAU) modifiée: 10.2 %

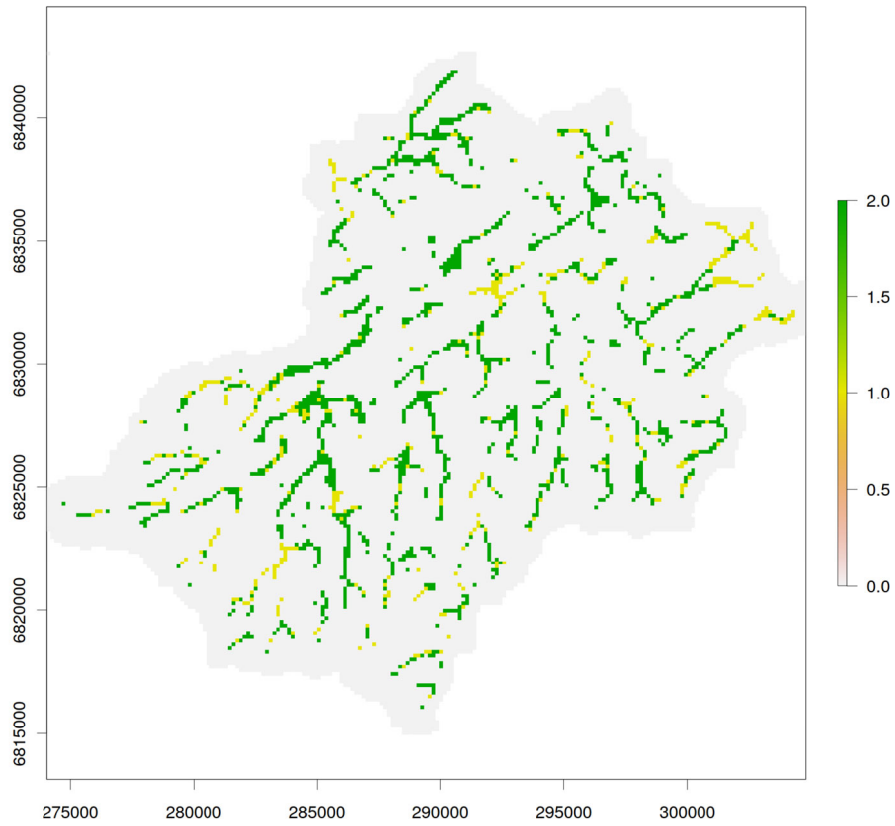


Figure 6a: Guessant: Surfaces impactées (vert=SAU,jaune=hors SAU) par le scénario BSC 10%

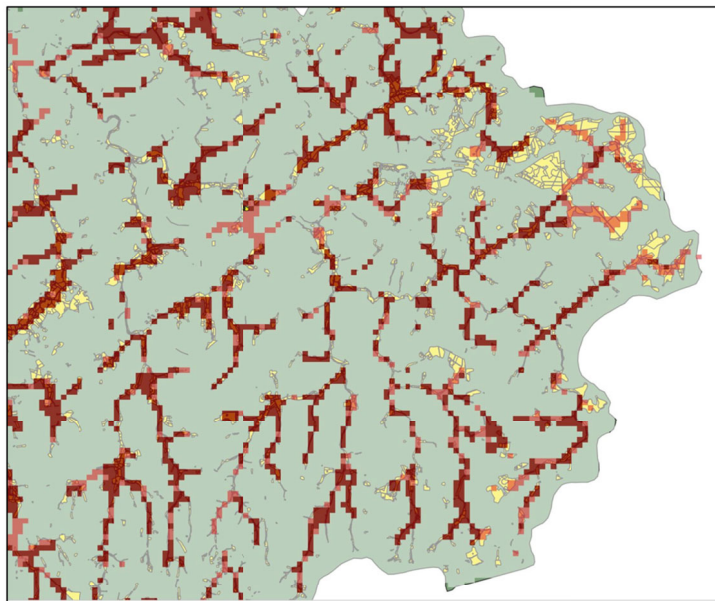


Figure 6b : Superposition entre zones humides réelles et simulées (BSC 14%), Est du Guessant. En brun foncé celles effectivement converties, en brun clair ceux qui étaient déjà hors SAU, en jaune les surfaces identifiées par le SAGE non identifiées par la simulation.

La figure 6a présente une carte des zones modifiées pour le scénario BSC 10 % sur le Gouessant. Elle permet d'illustrer la spatialisation du scénario, ainsi que d'évaluer l'ampleur des surfaces à modifier. Précisons que cette carte ne saurait être employée directement pour définir une action concrète sur le terrain. D'une part, l'indice d'hydromorphie est uniquement basé sur la topographie et n'est pas du tout basé la réalité du terrain. A titre d'illustration, la figure 6b présente un zoom sur une superposition entre les zones humides cartographiées par le SAGE, qui représentent 14 % de la surface du bassin versant (en jaune), les 14 % de pixels les plus humides (en brun foncé ceux effectivement convertis, en brun clair ceux qui étaient déjà hors SAU).

D'autre part, ce scénario n'a pas été construit dans un objectif d'application directe, mais, répétons nous, comme moyen de simuler, de façon simple, efficace et crédible physiquement, une baisse importante et rapide des flux, et d'évaluer en première approche l'ampleur des modifications à apporter en fonction des objectifs à atteindre.

## 2.2 Scénario Pratiques Agricoles Passées (PAP)

---

Le scénario PAP a été construit en reprenant les pratiques agricoles passées (pré 2005 dans les bases de données utilisées pour l'étude principale), appliquées à la période 2005-2018.

Les principaux changements par rapport aux pratiques actuelles sont les suivantes:

- Pas de CIPAN
- Pas de contraintes sur les dates d'épandages
- Pression azotée plus importante (augmentation des intrants « bilan » de l'ordre de 25 %, notamment sur Gouet et Y ffiniac)
- moins bonne efficacité de l'usage de l'azote (pour 1 N en entrée on a 20 % de moins en exportation agricole avec PAP)

Une recalibration de TNT2 a été nécessaire pour repartir des bonnes concentration initiales en nitrate dans la nappe.

### Impacts généraux

La figure 7 présente l'impact du scénario PAP sur l'ensemble des trois bassins versants : les adaptations apportées depuis 2005 (scénario de référence) auraient permis une baisse du quantile 90 annuel des concentrations en nitrate, passant de ~80 mg.l<sup>-1</sup> à moins de 35 mg.l<sup>-1</sup>. Les flux annuels auraient quant à eux été réduits de ~60 % (~70 % pour les flux estivaux). Le tableau 1 permet d'apprécier les impacts principaux sur le bilan azoté global : les flux à l'exutoire passent de 38,67 à 15,5 kg N .ha<sup>-1</sup>, avec une baisse des intrants net (bilan N) de 168 à 150 kg N .ha<sup>-1</sup>, renforcé par une augmentation de l'efficacité agronomique (exportations + pâturages passe de 113 à 125 kg N .ha<sup>-1</sup>).

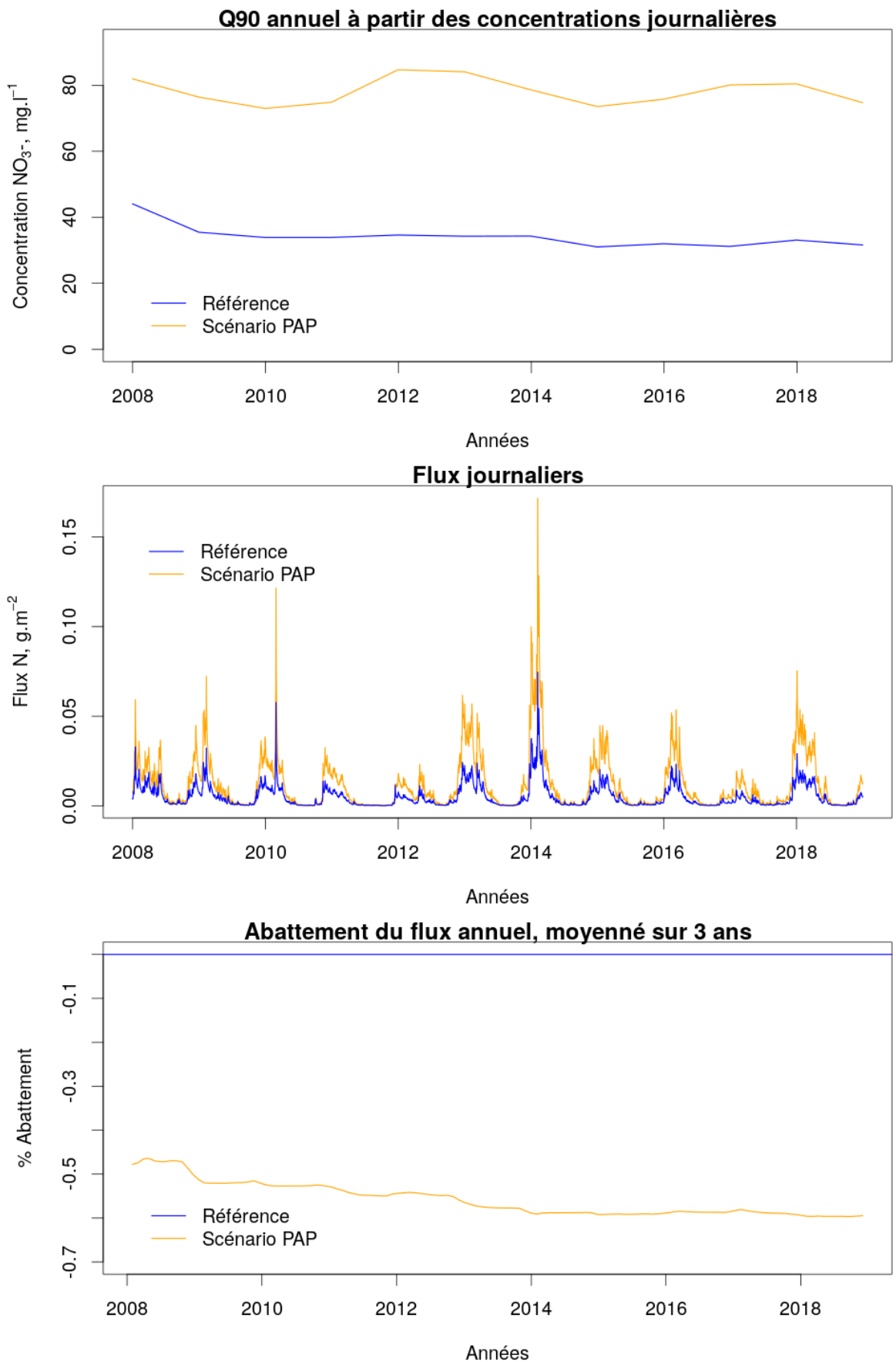


Figure 7: Scénario PAP sur les trois bassins versants. Quantile 90 des concentrations en nitrate, flux d'azote et abattement annuel (tendance à 3 ans)

Tableau 1 : Principaux éléments du bilan azoté, moyenne sur les 3 dernières années

<i>Quantités, N kg.ha<sup>-1</sup> (surface totale)</i>	<i>Référence</i>	<i>PAP</i>
<b>Principales entrées</b>		
Fixation symbiotique	0,49	0,20
Fertilisation minérale	25,96	28,25
Apports organiques	53,50	63,46
Restitutions au pâturage	30,03	27,96
Variation de stock (Nappe et sol)	40,63	48,25
<b>Principales sorties</b>		
Dénitri fication hétérotrophe	8,78	14,39
Volatilisation (NH <sub>3</sub> )	7,18	7,52
Exportations (fauches, récoltes)	85,74	76,89
Ingéré par les animaux (pâturage)	38,99	36,27
Flux à l'exutoire	15,50	38,67

## Impacts potentiels sur les marées vertes

Le modèle MARS-Ulve n'a pas simulé ce scénario (comme aucun des scénarios présentés). Néanmoins, en première approximation, on peut tenter de relier les flux d'azote estivaux simulés avec les surfaces d'échouages d'ulves en se basant sur les précédentes simulations. La figure 8 présente la relation simplifiée, faible mais significative, entre les deux variables. On observe deux régions : une où la relation flux d'azote / marée verte est relativement linéaire (>2000 kg/jour, i.e. il y a marée verte quelque soit les conditions climatiques), et une pour les flux plus faibles, où les conditions climatiques deviennent prépondérantes pour expliquer les variations inter-annuelles. A part pour les années 2011 et 2010, le scénario PAP (les croix rouges sur le graphe) conduirait à des flux >2000 kg/jour, ce qui pourrait suggérer une forte augmentation de l'occurrence de marées vertes importantes, et pas d'années à faibles marées vertes.

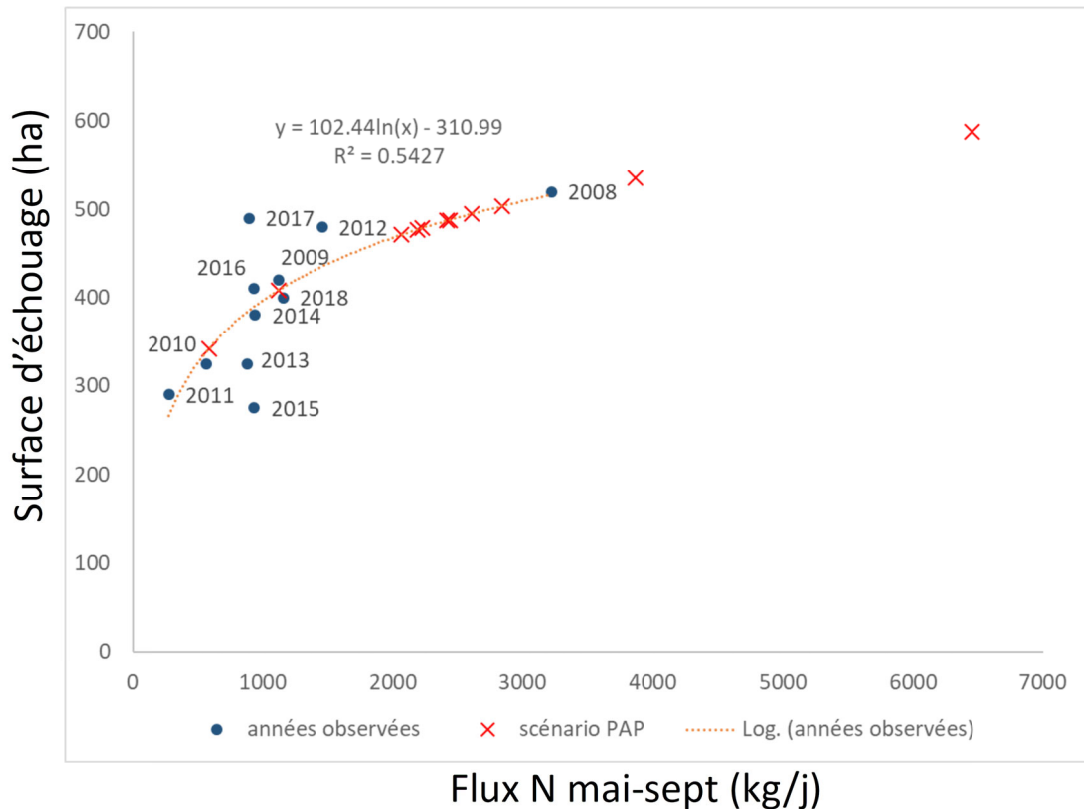


Figure 8: Surface d'échouage des algues en fonctions des flux d'azote estivaux (Les années dites observées sont issues de simulations MARS-Ulves à partir des séries de référence simulées par TNT2).

## 2.3 Scénario Basses Fuites d'azote (BFN)

L'esprit de ce scénario est de cumuler les pratiques réputées les plus efficaces pour limiter les fuites d'azote dans les systèmes de polyculture élevage bretons en essayant de maintenir la production globale proche de son niveau actuel.

Les principes du scénario sont les suivants :

- Remplacer autant que possible les engrais de synthèse par les effluents d'élevage, afin de limiter la pression azotée sans réduire trop fortement les cheptels.
- éliminer les rotations « à risque fort de lessivage », notamment maïs-ensilage-céréales d'hiver-prairie temporaire : remplacer par des prairies permanentes RGA-Trèfle blanc, fertilisées au fumier de bovins composté, fauchées et pâturées.
- Systématiser les couverts automnaux/hivernaux, notamment par le semis de RGI sous couvert dans le maïs grain et en remplaçant les céréales d'hiver par des céréales de printemps précédées d'une CIPAN.

D'un point de vue « système de production », la conséquence pourrait être de transformer les exploitations ayant des bovins en systèmes herbagers spécialisés bovins et spécialiser les élevages granivores.

Les modifications apportées au scénario de référence (pratiques actuelles) ont donc été les suivantes :

- Remplacement des céréales d'hiver par des céréales de printemps (précédées de CIPAN, et avec une fertilisation organique (substitution des itinéraires techniques avec engrais minéraux par du lisier (porc))
- Transformation des rotations avec maïs ensilage en prairies (RGA-Trèfle Blanc), avec une fertilisation organique (lisier de bovin), fauchées et pâturées
- Modification des itinéraires techniques des maïs grain : de trois grands types de conduites initiales (fertilisation fortes, moyenne, faible), on ne garde que les fertilisations moyennes et faibles en remplaçant les fortes par des moyennes
- Implémentation systématique d'un RGI sous couvert sur les maïs grain
- le scénario s'applique sur la période 2018-2036 (identique au scénario BSC)

## Impacts généraux

La figure 9 synthétise les effets de l'application du scénario, et permet une comparaison avec le scénario baisse des surfaces agricoles. Le scénario BFN a un impact similaire à BSC 6 % sur l'ensemble des trois bassins versants, mais avec de fortes disparités entre bassins versants (figures 10,11 et 12). Notamment sur Yffiniac, le scénario BFN est plus efficace que le scénario BSC 10 % (on passe de ~15 % d'abattement annuel à ~25%).

Pour le scénario BFN, on remarque un temps de réponse plus long que le scénario BSC, ce qui était attendu. L'efficacité maximale est atteinte en une quinzaine d'années, avec déjà une forte réduction des flux après 5 ans. Le scénario BSC a tendance à plus écrieter les concentrations maximales (quantiles 90) et plus rapidement, pour des flux à l'exutoire équivalents. Rappelons que le scénario BFN n'est pas spatialisé, contrairement au scénario BSC, et que ce dernier incorpore directement une baisse des intrants, notamment dans les zones les plus proches des cours d'eau.

Le tableau 2 synthétise les conséquences sur le bilan agronomique pour chaque bassin versant et pour l'ensemble. Les principaux points sont la forte baisse de la fertilisation minérale et des fientes de volailles, plus que compensée par l'augmentation des restitutions au pâturage, de la fixation biologique (trèfle) et du lisier de porc sur le Gouessant (point qui reste à éclaircir). La valorisation de l'azote dans la production agricole est au moins aussi importante, avec une baisse des flux à l'exutoire de l'ordre de 28 % (équivalent en saison estivale).

Globalement, ce scénario est compatible avec un maintien de la production animale en l'état, en supposant néanmoins l'exportation totale des fientes de volailles, une répartition idéale des parcelles et une gestion idéale des effluents et des pâturages.

Tableau 2: Conséquences du scénario BFN sur le bilan agronomique. Les valeurs négatives (en bleu) correspondent à une baisse.

Comparaison du bilan Azoté (ratio): BFN / Référence (%)	Gouet	Anse d'Y ffiniac	Gouessant	<b>Total</b>
<b>Principales entrées</b>				
Fixation symbiotique	5035 % (x50)	7677 % (x77)	5730 % (x57)	<b>5726 % (x57)</b>
Fertilisation minérale	-79 %	-84 %	-66 %	<b>-74 %</b>
Apports organiques, dont :	-51 %	-50 %	24 %	<b>-20 %</b>
<i>Bovin (épardage)</i>	-30 %	-48 %	-14 %	<b>-26 %</b>
<i>porc</i>	-43 %	-45 %	186 %	<b>44 %</b>
<i>volaille</i>	-95 %	-93 %	-62 %	<b>-89 %</b>
Restitutions au pâturage	69 %	76 %	79 %	<b>75 %</b>
Total apports azoté	-16 %	-18 %	40 %	<b>9 %</b>
<b>Principales sorties</b>				
Exportations (fauches, récoltes)	-32 %	-33 %	-7 %	<b>-19 %</b>
Ingéré par les animaux (pâturage)	69 %	76 %	78 %	<b>75 %</b>
Flux d'azote à l'exutoire	-34 %	-30 %	-24 %	<b>-28 %</b>
Azote valorisé dans la production agricole	0,12 %	-1,92 %	17,35 %	<b>8,75 %</b>

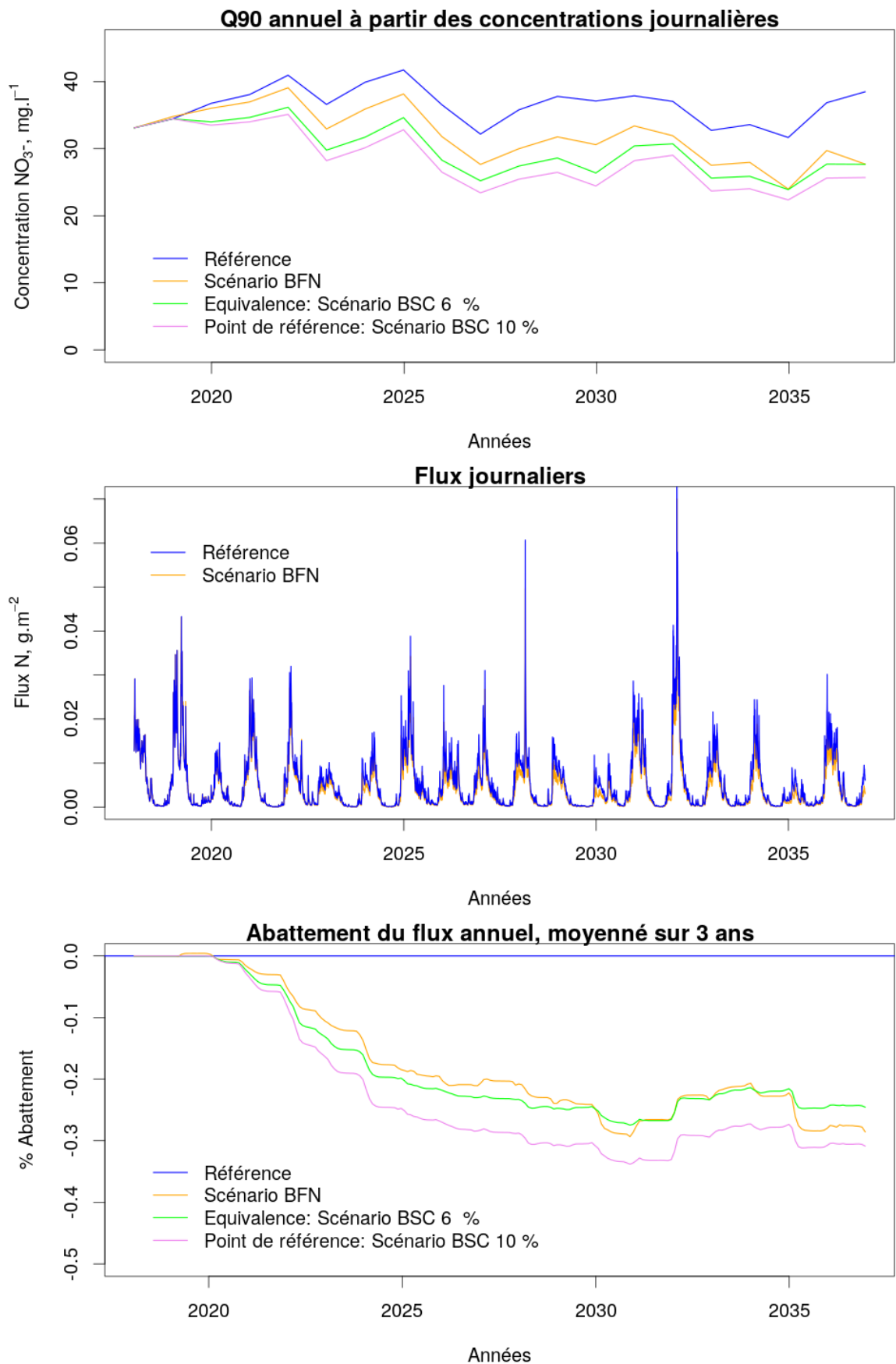


Figure 9: Scénario BFN sur les trois bassins versants. Quantile 90 des concentrations en nitrate, flux d'azote et abatement annuel (tendance à 3 ans). Comparaison avec un scénario BSC présentant un abatement après 15 ans équivalent, et avec BSC 10 % pour référence.

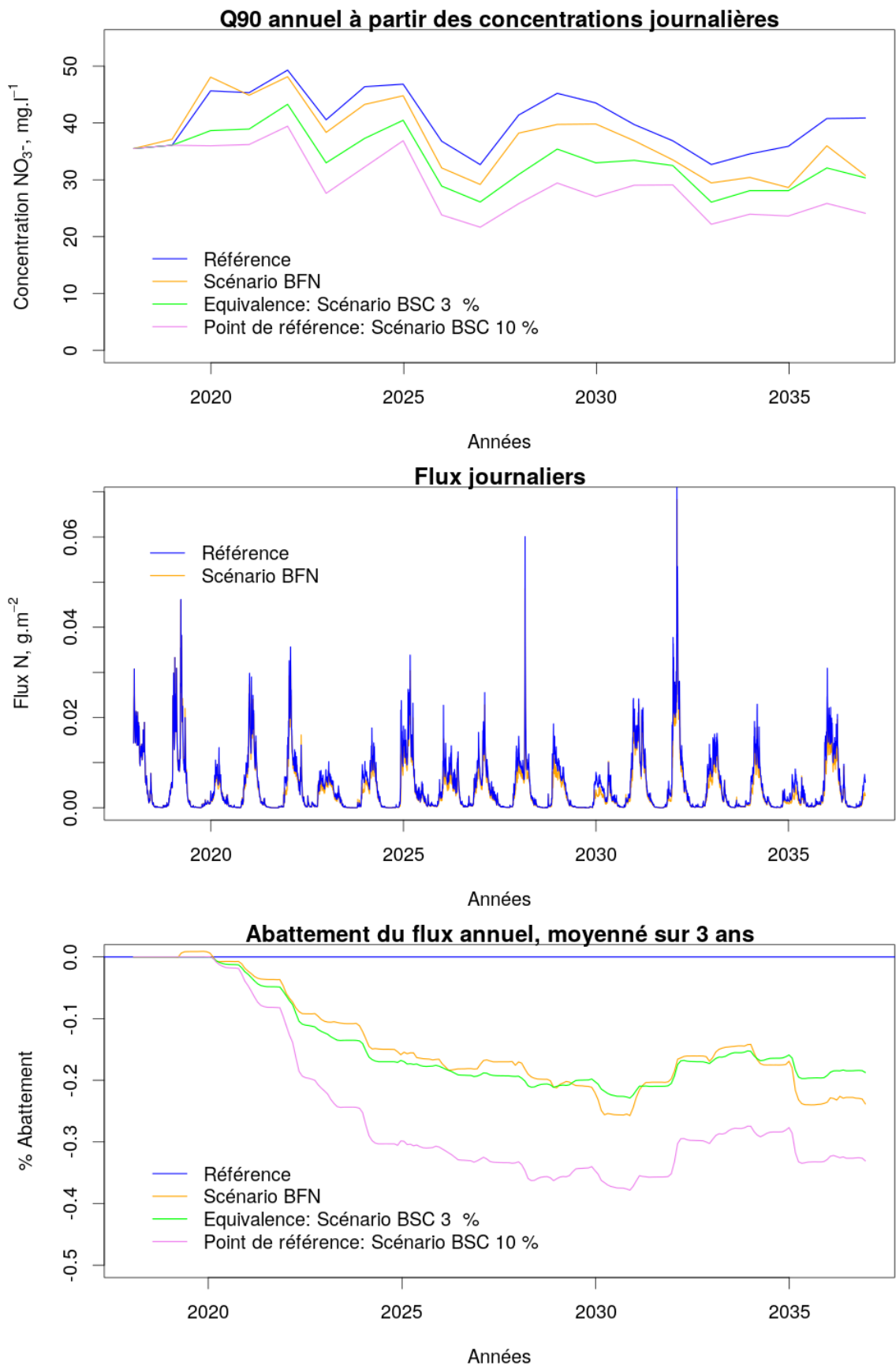


Figure 10: Scénario BFN sur le Gouessant. Quantile 90 des concentrations en nitrate, flux d'azote et abatement annuel (tendance à 3 ans). Comparaison avec un scénario BSC présentant un abatement après 15 ans équivalent, et avec BSC 10 % pour référence.

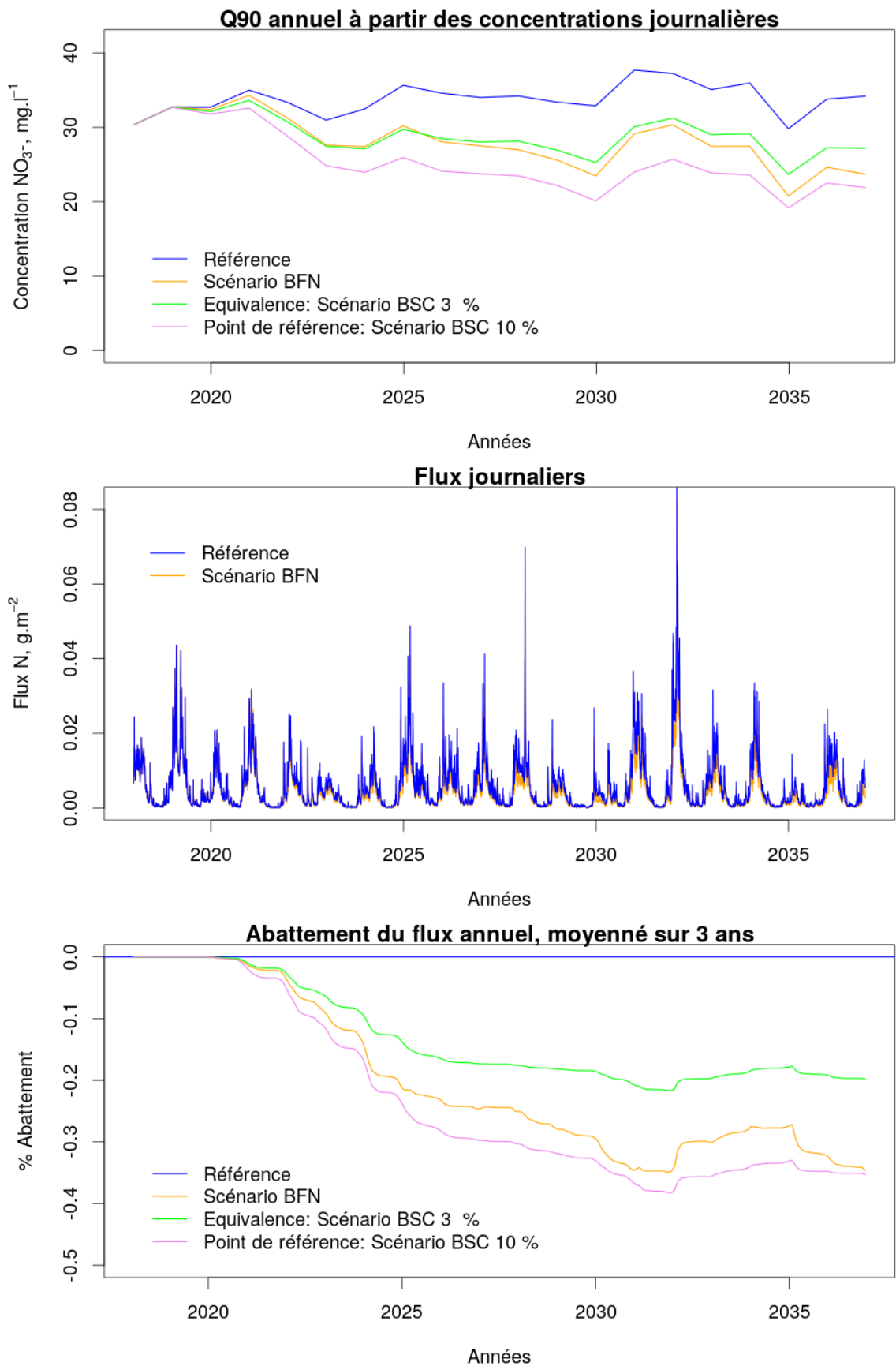


Figure 11: Scénario BFN sur le Gouet. Quantile 90 des concentrations en nitrate, flux d'azote et abatement annuel (tendance à 3 ans). Comparaison avec un scénario BSC présentant un abatement après 15 ans équivalent, et avec BSC 10 % pour référence.

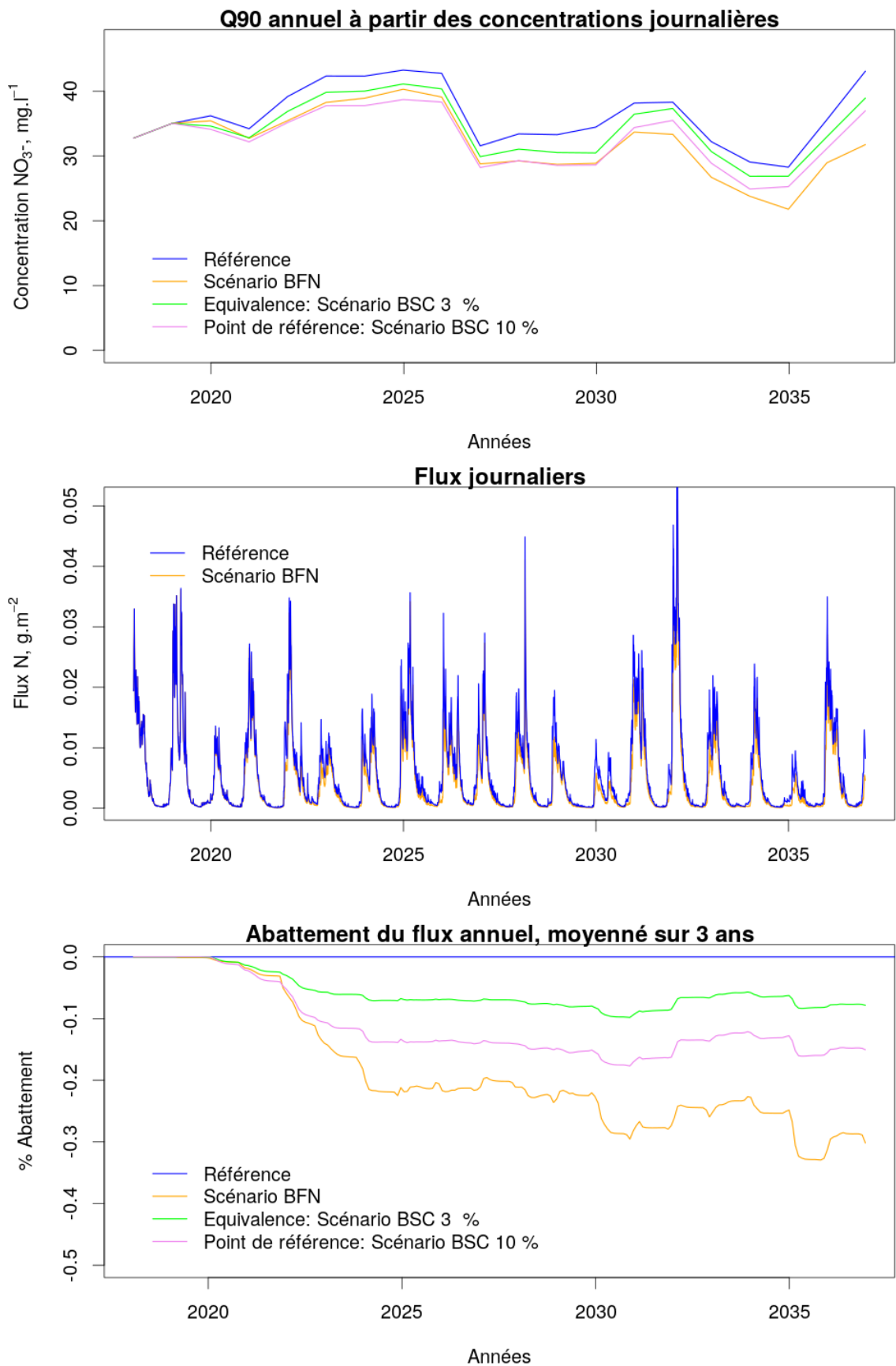


Figure 12: Scénario BFN sur Y finiac. Quantile 90 des concentrations en nitrate, flux d'azote et abatement annuel (tendance à 3 ans). Comparaison avec un scénario BSC présentant un abatement après 15 ans équivalent, et avec BSC 10 % pour référence.

## Impacts potentiels sur les marées vertes

Comme pour le scénario PAP, en première approximation, on peut tenter de relier les flux d'azote estivaux simulés avec les surfaces d'échouages en se basant sur les précédentes simulations. La figure 13 présente la relation simplifiée, faible mais significative, entre les deux variables. On observe deux régions : une où la relation flux d'azote / marée verte est relativement linéaire (>2000 kg/jour, i.e. il y a marée verte quelque soit les conditions climatiques), et une pour les flux plus faibles, où les conditions climatiques deviennent prépondérantes pour expliquer les variations inter-annuelles. A part pour l'année 2008, le scénario BFN (les croix vertes sur le graphe) conduit à des flux <2000 kg/jour, ce qui pourrait suggérer une potentielle baisse de l'occurrence et/ou de l'intensité des marées vertes. Néanmoins, comme la majorité des années se retrouvent dans la zone où la corrélation est faible statistiquement, l'estimation est délicate, sans modélisation de type MARS-Ulve pour prendre en compte l'aspect non-linéaire et les multiples variables influentes. Autrement dit, par cette première approche statistique, il est plus incertain de dire que le scénario BFN apporterait une baisse significative du phénomène de marée verte (intensité et occurrence) que de dire que le scénario PAP mènerait à une augmentation.

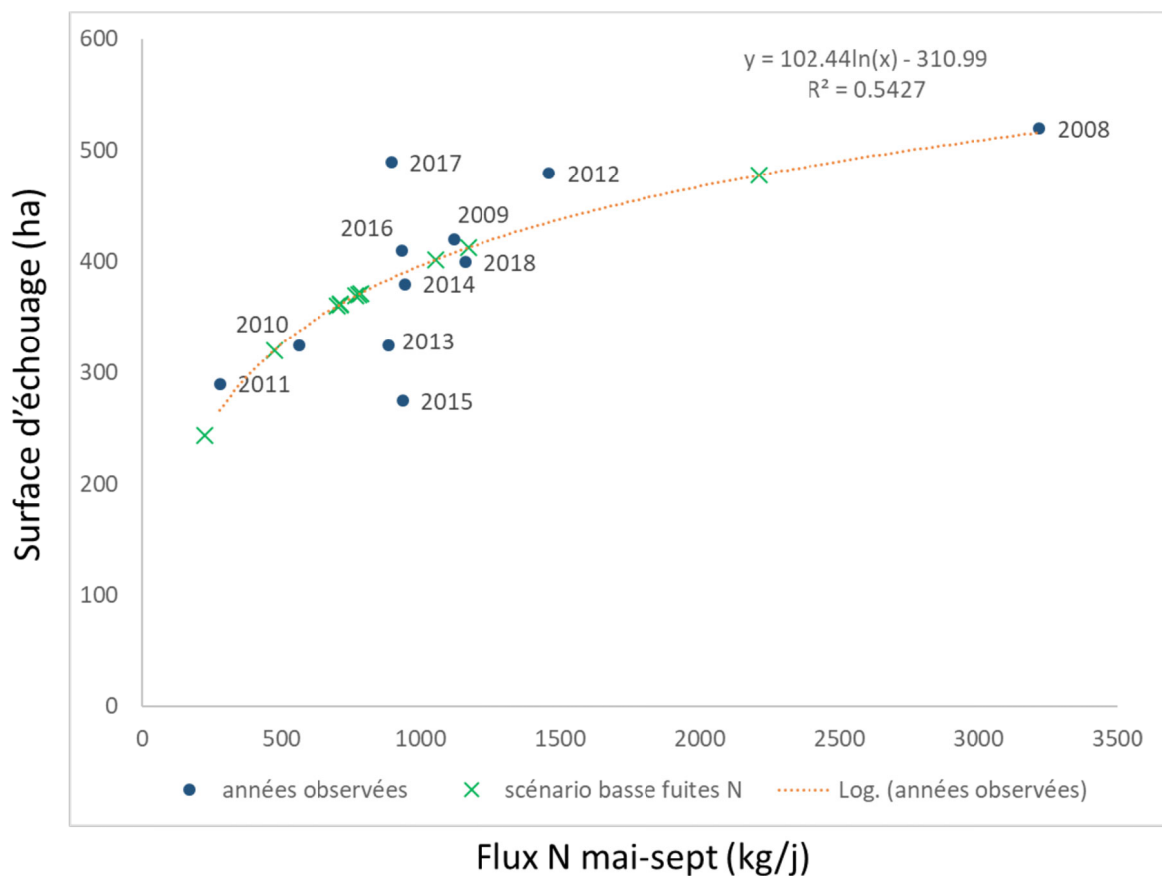


Figure 13: Surface d'échouage des algues en fonctions des flux d'azote estivaux (les années dites observées sont issues de simulations MARS-Ulves à partir des séries de référence simulées par TNT2).

### 3 SYNTHÈSE

---

Les trois groupes de scénarios (BSC, PAP, BFN) ont été appliqués de façon normalisée à l'aide des outils de généralisation des traitements informatiques développés lors des précédents programmes de R&D (Suite CSAM + plateforme Schemetics) sur les trois bassins versants (Gouessant, Gouet, Anse d'Yffiniac).

Comme attendu et déjà précédemment montré, le scénario BSC est très efficace dès les premiers pourcentages de surfaces modifiées, avec >50 % de l'efficacité maximale à 15 ans atteint avec le scénario « BSC 10 % ». Au delà de ~20 % de surfaces modifiées, des zones peu actives (pas d'interactions sol-nappe) sont converties, amenant des gains réduits et avec un temps de réponse plus lent (zones éloignées du cours d'eau). On entre alors dans un régime de « dilution » de la pollution azotée par une baisse globale de la fertilisation, sans l'effet additionnel de l'interception de l'azote lessivé en amont simulé pour les zones plus humides. Ce scénario ne doit toutefois pas être assimilé aux restaurations de zones humides effectuées ou voulues dans le projet PLAV, car son efficacité est liée au caractère systématique et intégral de l'abandon de l'agriculture productive dans les bas de versant, en pratique peu réaliste. Il agit surtout ici de simuler, de façon simple, efficace et crédible physiquement, une baisse importante des flux, et d'évaluer en première approche l'ampleur des modifications à apporter en fonction des objectifs à atteindre.

En se basant sur le scénario PAP, les adaptations apportées depuis 2005 (scénario de référence) auraient permis une baisse du quantile 90 annuel des concentrations en nitrate, passant de ~80 mg.l<sup>-1</sup> à moins de 35 mg.l<sup>-1</sup>. Les flux annuels auraient quant à eux été réduits de ~60 % (~70 % pour les flux estivaux). Cet effet est sensiblement plus fort que les réductions effectivement observées sur la période, car si les pratiques n'avaient pas changé la situation aurait continué à se dégrader pendant un certain temps.

Pour le scénario BFN, on remarque un temps de réponse plus long que le scénario BSC, ce qui était attendu. L'efficacité maximale est atteinte en une quinzaine d'années, avec déjà une forte réduction des flux après 5 ans. Le scénario BSC a tendance à plus écriéter les concentrations maximales (quantiles 90) et plus rapidement, pour des flux à l'exutoire équivalents. Rappelons que le scénario BFN n'est pas spatialisé, contrairement au scénario BSC, et que ce dernier incorpore directement une baisse des intrants, notamment dans les zones les plus proches des cours d'eau. Les principales conséquences agronomiques sont la forte baisse de la fertilisation minérale et des fientes de volailles, plus que compensée par l'augmentation des restitutions au pâturage, de la fixation biologique (trèfle) et du lisier de porc sur le Gouessant. La valorisation de l'azote dans la production agricole est au moins aussi importante, avec une baisse des flux à l'exutoire de l'ordre de 28 % (équivalent en saison estivale). Globalement, le scénario BFN est compatible avec un maintien de la production animale en l'état, mais en supposant une répartition idéale des parcelles et une gestion idéale des effluents et des pâturages.

Dans cette étude, le modèle MARS-Ulve n'a pas simulé les scénarios. Néanmoins, en première approximation, on peut tenter de relier les flux d'azote estivaux simulés avec les surfaces d'échouages d'ulves en se basant sur les précédentes simulations. A part pour les années 2011 et 2010, le scénario PAP conduirait à des flux >2000 kg N/jour, ce qui pourrait suggérer une forte

augmentation de l'occurrence de marées vertes importantes, et pas ou peu d'années à faibles marées vertes. le scénario BFN conduit à des flux <2000 kg/jour, ce qui pourrait suggérer une potentielle baisse de l'occurrence et/ou de l'intensité des marées vertes. Néanmoins, comme la majorité des années se retrouvent dans la zone où la corrélation est faible statistiquement, l'estimation est délicate, sans modélisation de type MARS-Ulve pour prendre en compte l'aspect non-linéaire et les multiples variables influentes. Autrement dit, par cette première approche statistique, il est plus incertain de dire que le scénario BFN apporterait une baisse significative du phénomène de marée verte (intensité et occurrence) que de dire que le scénario PAP mènerait à une augmentation.

Globalement, les résultats pour les trois scénarios sont génériques dans leurs ordres de grandeurs et l'allure des courbes. Néanmoins, rappelons aussi que chaque bassin versant a sa configuration propre (bio-géophysique, socio-agronomique, climatique, etc.), et n'est pas égal devant une même pression azotée : des mesures identiques n'auront pas forcément les mêmes effets attendus quantitativement, et certains sites seront plus sensibles à certaines pratiques / aménagements que d'autres. Le scénario BFN pourrait être précisé et affiné, mais il montre le gain maximum espérable avec un niveau de production peu impacté. Le scénario PAP serait plus démonstratif si couplé avec Mars-Ulves.

## 4 ANNEXES

Ces annexes contiennent les graphes pour chaque bassins versants non présentés dans le corps de texte principal, car non-essentiels à l'analyse.

### 4.1 Guessant

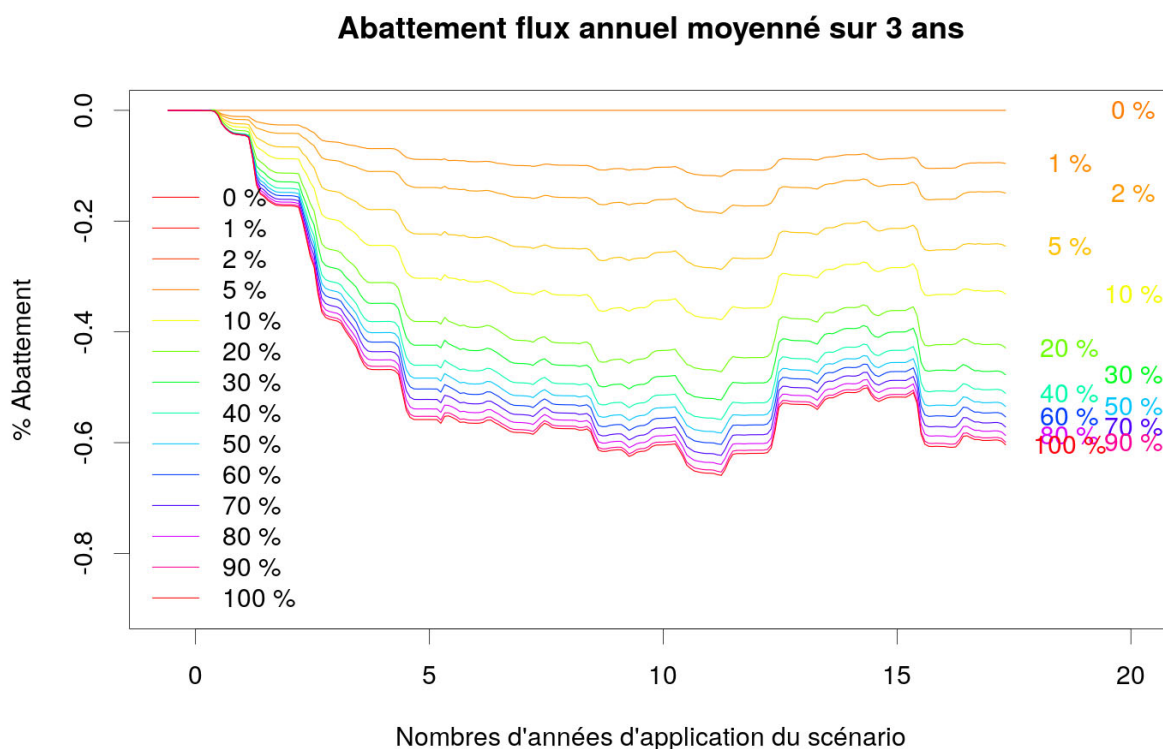


Figure 14: Scénario BSC, Guessant, Abattement annuel en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

### Abattement flux estivaux moyennés sur 3 ans

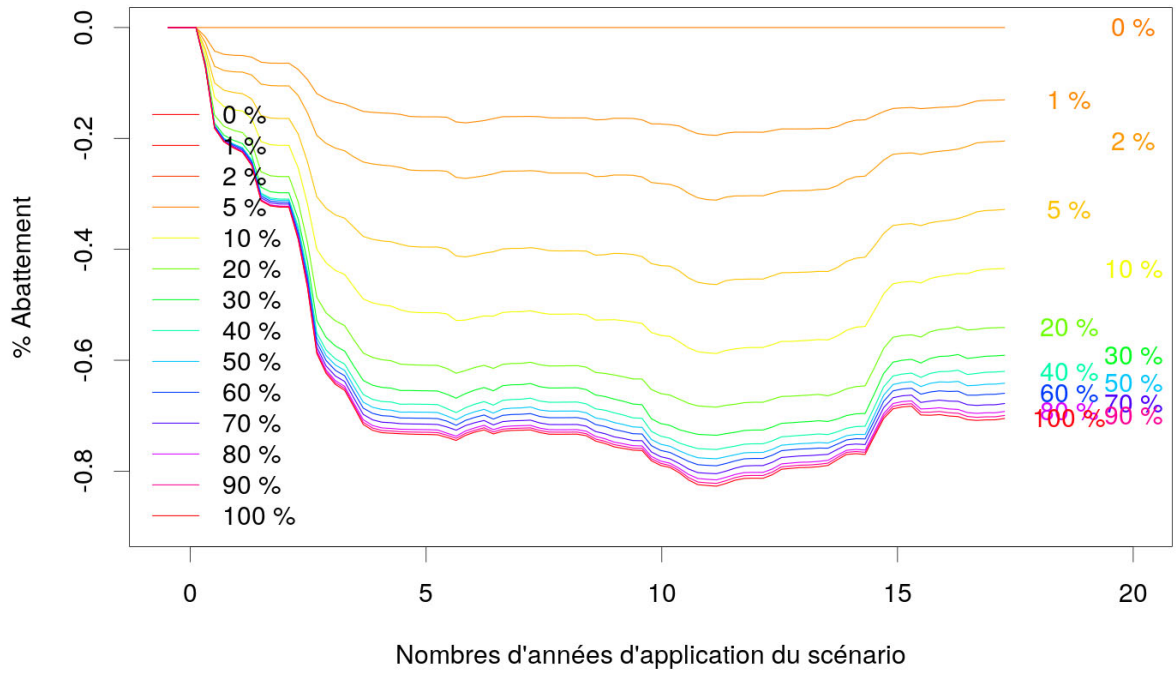


Figure 15: Scénario BSC, Guessant, Abattement estival en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

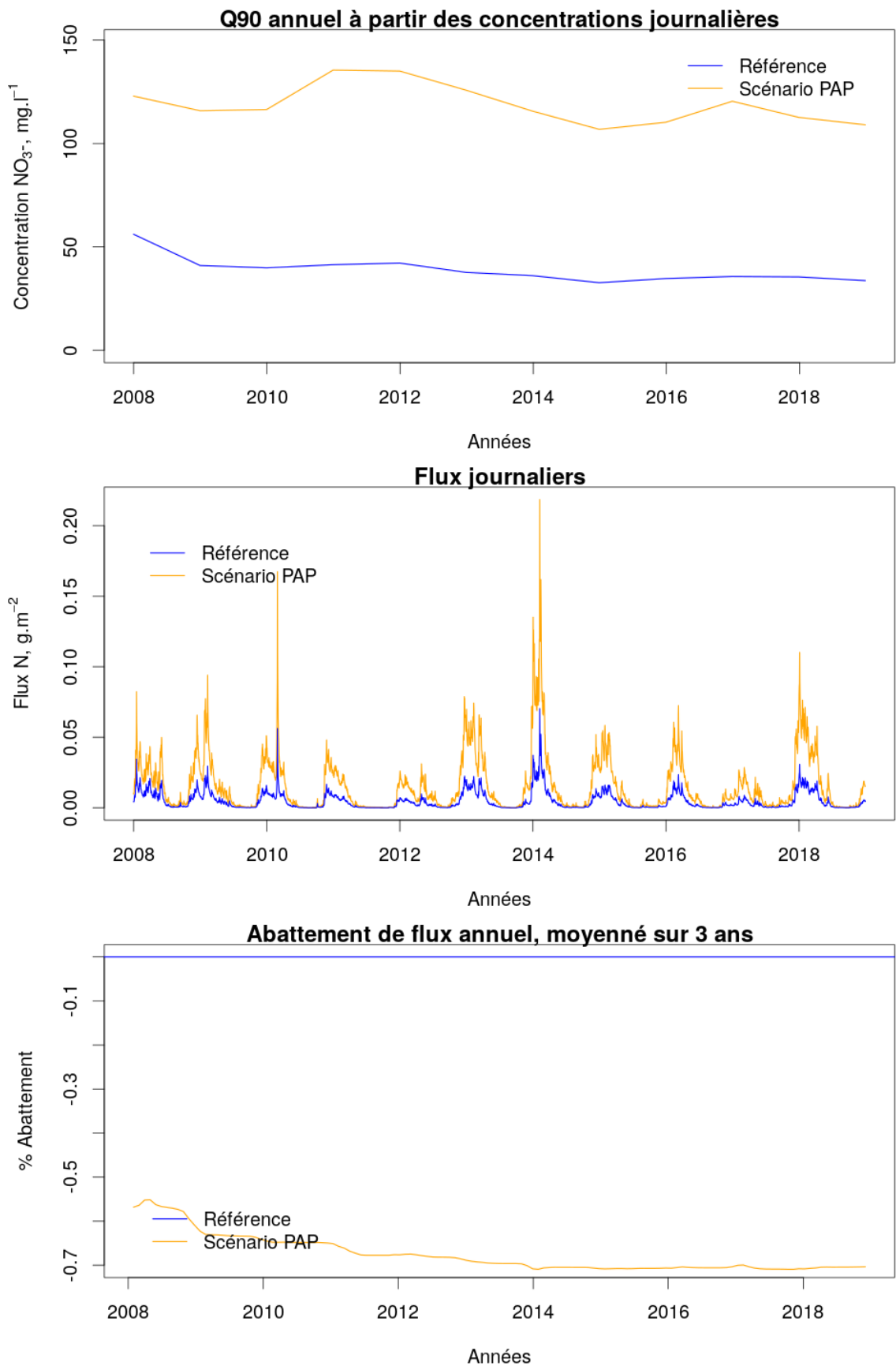


Figure 16 : Scénario PAP, Gouessant. Quantile 90 des concentrations en nitrate, flux d'azote et abattement annuel (tendance à 3 ans)

## 4.2 Gouet

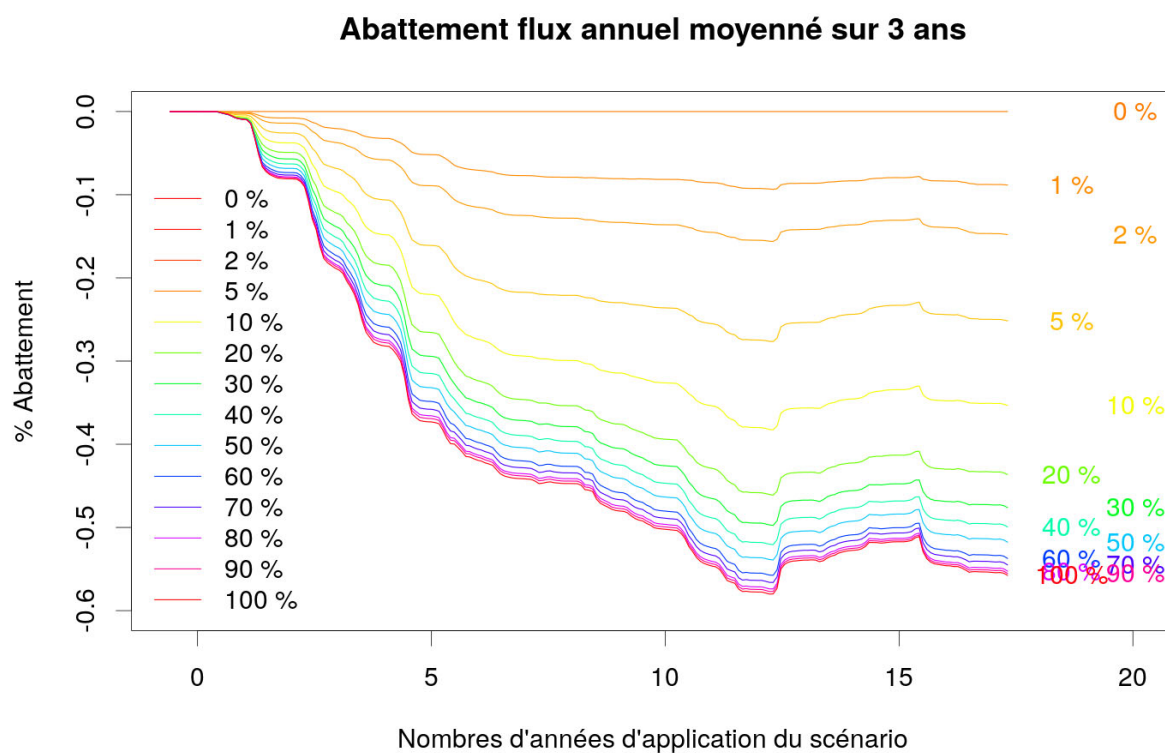


Figure 17: Scénario BSC, Gouet, Abattement annuel en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

### Abattement flux estivaux moyennés sur 3 ans

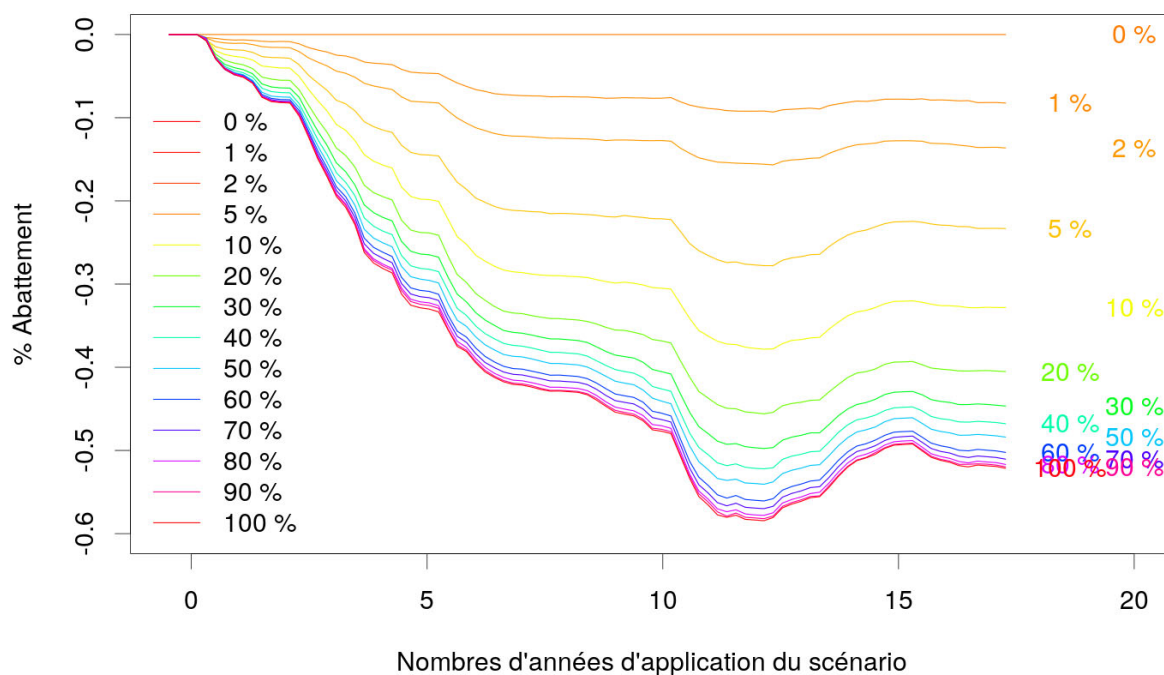


Figure 18: Scénario BSC, Gouet, Abattement estival en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

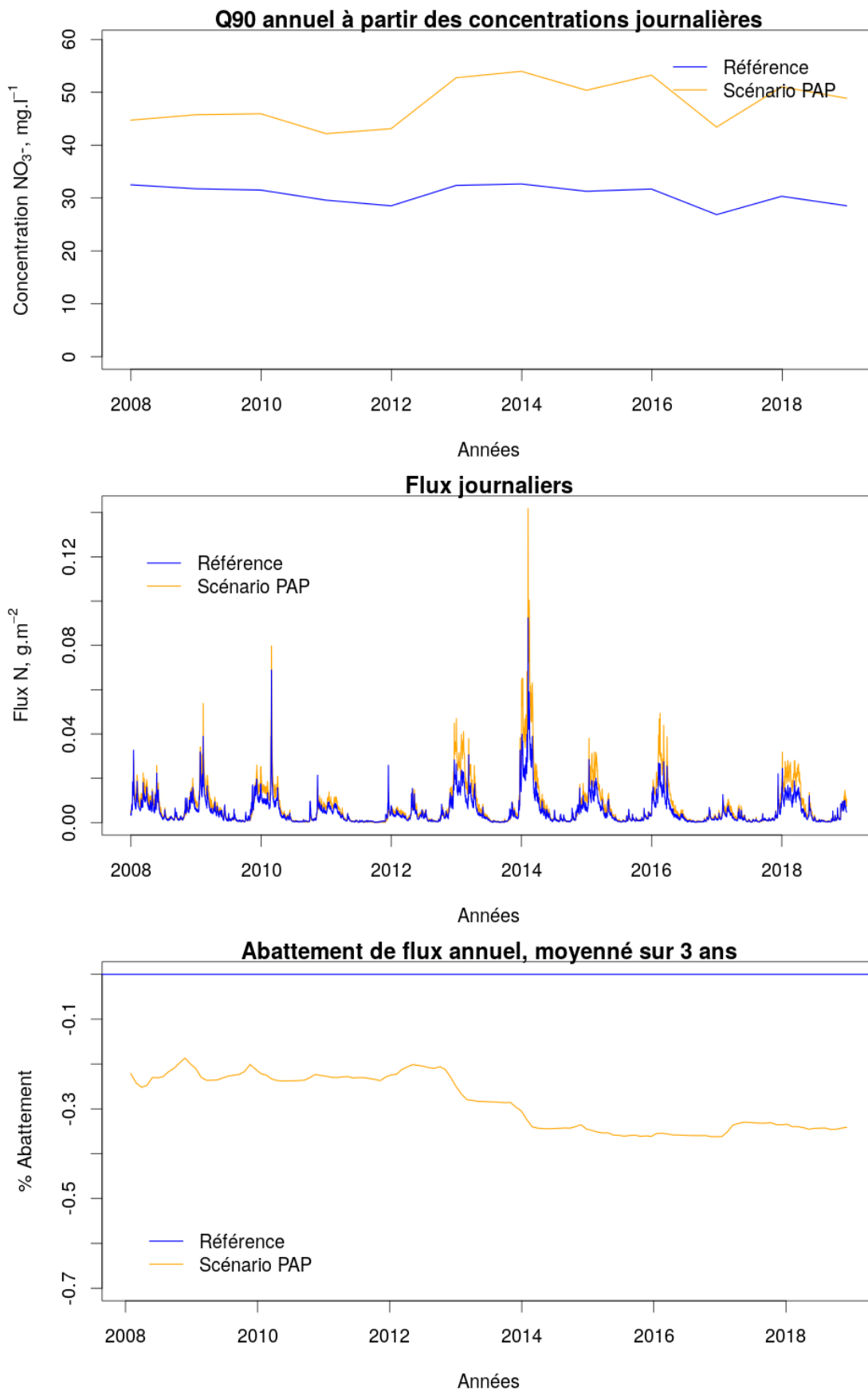


Figure 19: Scénario PAP, Gouet. Quantile 90 des concentrations en nitrate, flux d'azote et abattement annuel (tendance à 3 ans)

## 4.3 Anse d'Y ffiniac

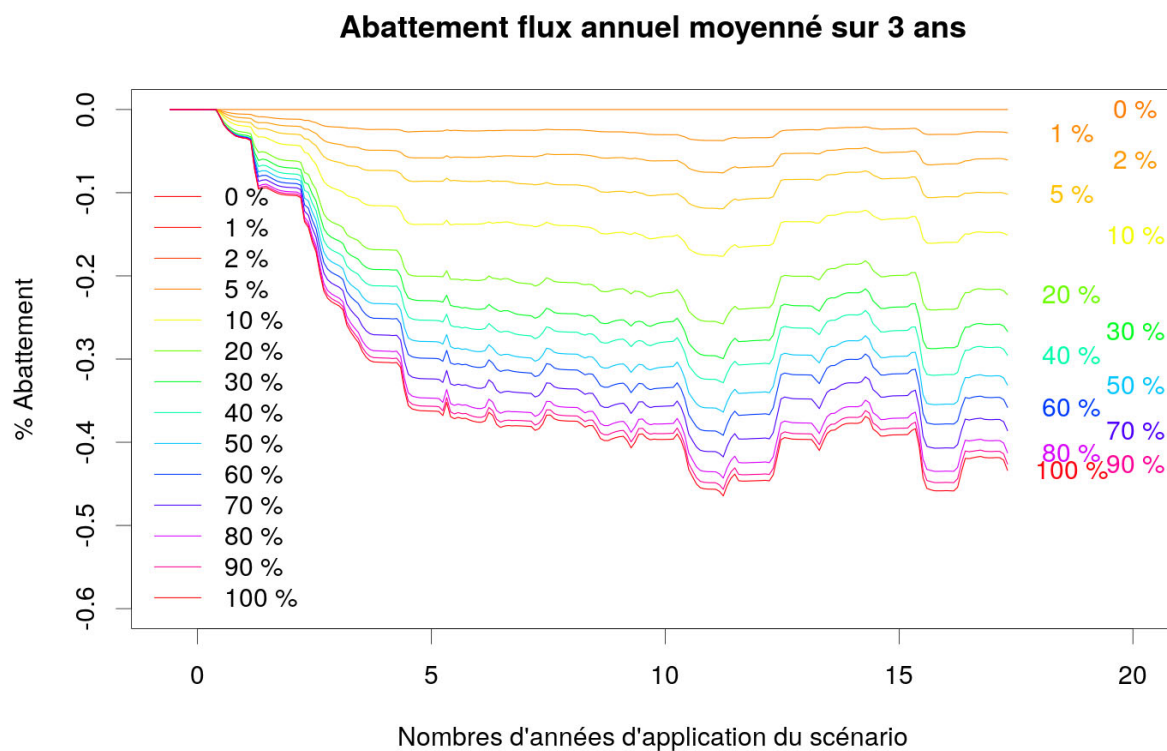


Figure 20: Scénario BSC, Y ffiniac, Abatement annuel en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

### Abattement flux estivaux moyennés sur 3 ans

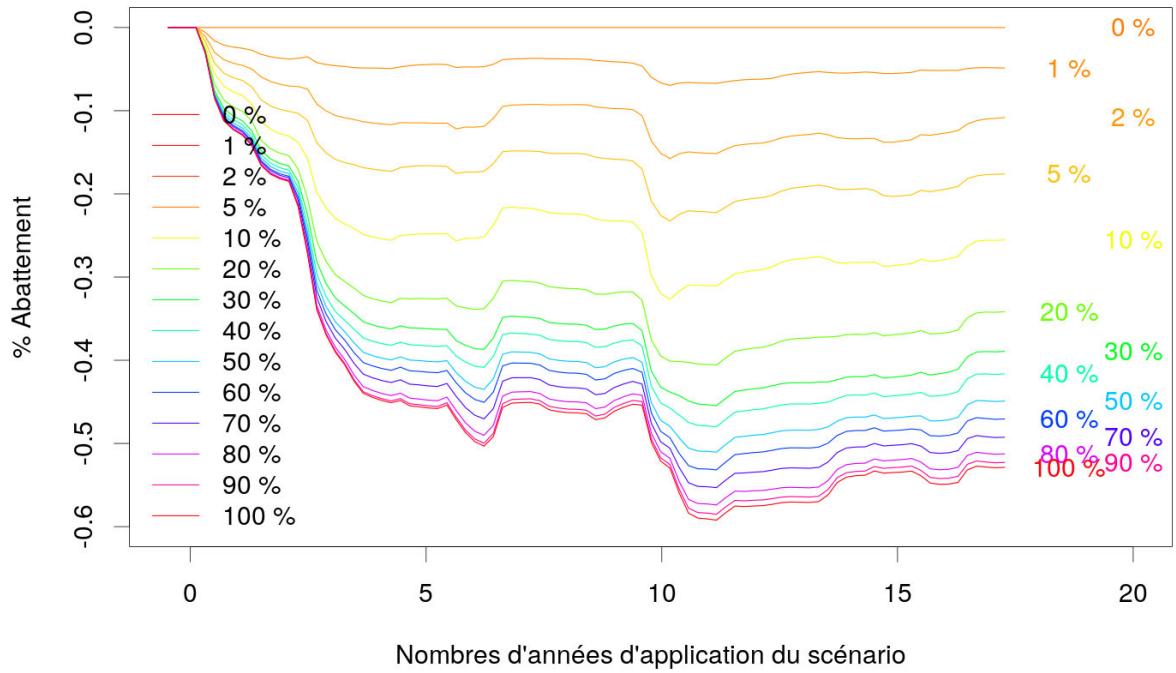


Figure 21: Scénario BSC, Y finiac, Abattement estival en fonction de la durée d'application, pour plusieurs valeurs de surfaces modifiées (0-100%). Pour l'échelle d'abattement, -0,3 correspond à un abattement de 30 % du flux de référence ou, autrement dit, le flux du scénario correspond à 70 % du flux de référence.

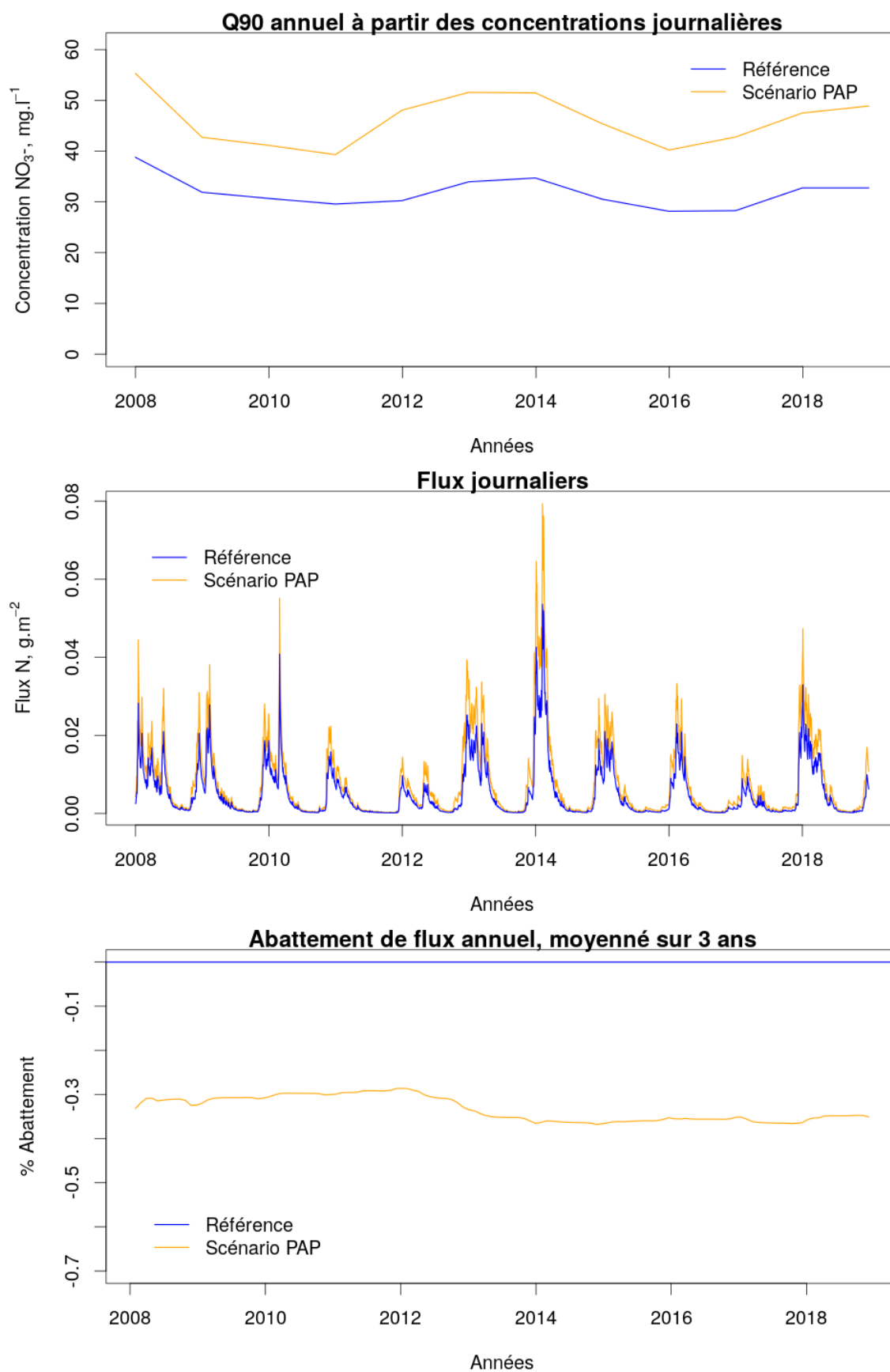


Figure 22: Scénario PAP, Y ffiniac. Quantile 90 des concentrations en nitrate, flux d'azote et abattement annuel (tendance à 3 ans)