Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (I.M.F.T.)

Département de Génie des Procédés Industriels (I.N.S.A.)

Impact des pollutions azotées sur la Garonne à l'aval de l'agglomération Toulousaine

Simulations tenant compte de l'influence de la température de l'eau

Résultats et conclusions

Agence de l'Eau
Adour Garonne

Juin 1994

GAR 32243

Agence de l'Eau
Adour Garonne
SERVICE DOCUMENTATION
90, rue de Férétra
31078 Toulouse Cedex 4
Tél : 05.61.36.37.38
Fax : 05.61.36.37.28
doc@eau-adour-garonne.fr
412612

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (I.M.F.T.)

Département de Génie des Procédés Industriels (I.N.S.A.)

AGENCE DE L'EAU
GAR
DOCUMENTATION
32243
ADOUR-GARONNE

Impact des pollutions azotées sur la Garonne à l'aval de l'agglomération Toulousaine

Simulations tenant compte de l'influence de la température de l'eau

Résultats et conclusions

Juin 1994

Sommaire

	Page
1. Contexte	2
2. Constat sur le modèle mathématique et orientation de l'étude	2
3. Rappel : les entrées du modèle	3
4. Prise en compte de la température	3
5. Calage du modèle	5
6. Les scénarios de pollution	7
7. Résultats des simulations	
a) Influence du débit	8
b) Influence de la température	15
8. Loi d'évolution de NH4	37
9. Conclusion	39

1. CONTEXTE

Le but de ce travail est de pouvoir simuler différentes situations de débit et de flux polluants en ammoniaque dans la Garonne au moyen d'un modèle mathématique de transport de polluant.
Cette modélisation résulte d'un travail initiéen 1988 par l'I.M.F.T.et le laboratoire de Génie des Procédés Industriels de l'I.N.S.A. en collaboration avec l'Agence de l'Eau ADOUR GARONNE.
En août 1991 un premier ensemble de simulations a déjà été réalisé sur le sujet[1] , auquel nous nous référerons.

Ce fascicule présente les résultats et conclusions d'un travail réalisé par Mademoiselle ABADIE Françoise et Monsieur STRULLU Pierre-Jean dans le cadre de la présentation d'un mémoire d'ingénieur ENSEEIHT auquel on se rapportera pour plus de détails.

2. CONSTAT SUR LE MODELE MATHEMATIQUE ET ORIENTATIONS DE L'ETUDE

Lors de l'utilisation du modèle dans sa forme initiale, nous avons décelé quelques insuffisances :

- Problèmes hydrauliques à l'aval du tronçon étudié (vers Verdun sur Garonne); le modèle conduisant à des vitesses d'écoulement trop fortes et des hauteurs d'eau trop élevées.

- Résultats de certaines simulations ne rendant pas bien compte des valeurs d'ammoniaque mesurées.

Nous avons donc tenté lors de cette nouvelle étude:

a) de rendre la partie hydraulique du modèle plus cohérente avec la réalité, notamment en modifiant la morphologie du lit pour obtenir des vitesses de l'eau rendant mieux compte des phénomènes de transport.

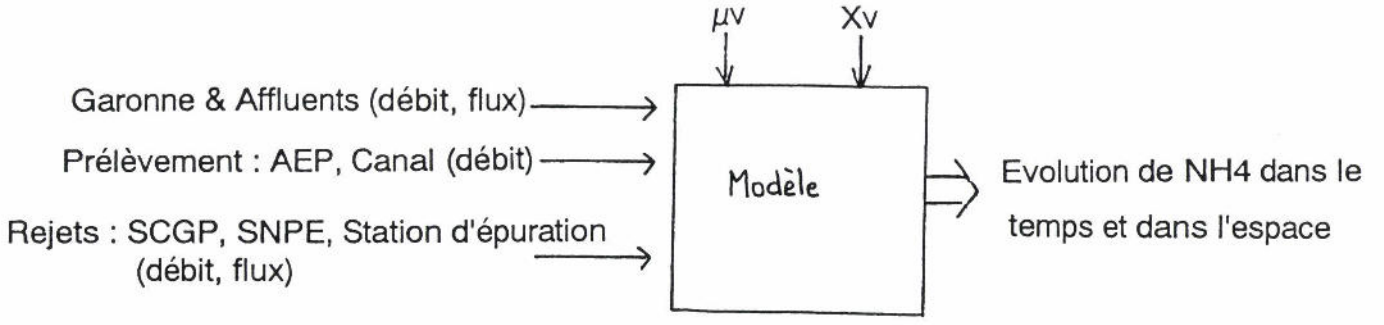
b) de prendre en compte l'influence de la température dans le processus de nitrification. Influence que l'on sait déterminante dans la cinétique du processus.

---

[1] Etude de l'impact des pollutions azotées sur la Garonne à l'aval de l'agglomération Toulousaine – Agence de l'Eau Adour Garonne – Août 1991.

3.RAPPEL : LES ENTREES DU MODELE

Les différents paramètres pris en compte par le modèle peuvent être schématisés de la façon suivante:

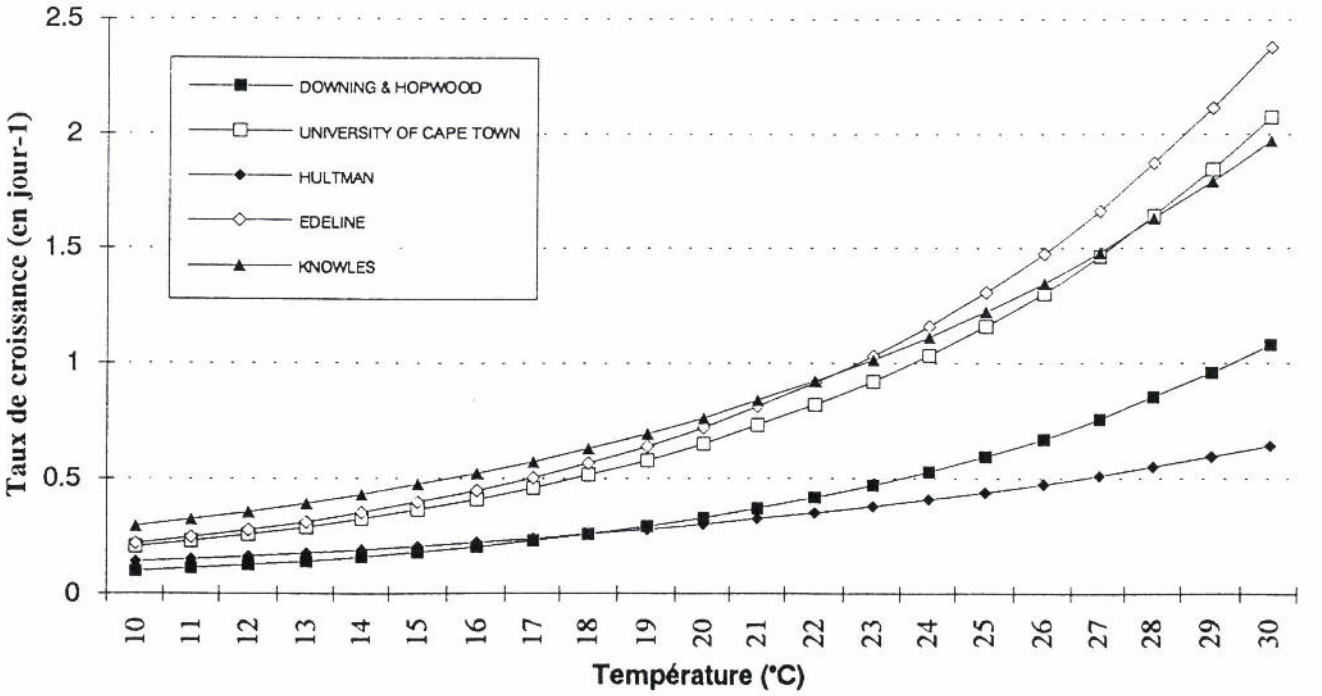


avec μv : taux de croissance des bactéries nitrifiantes.
Xv : teneur en biomasse active

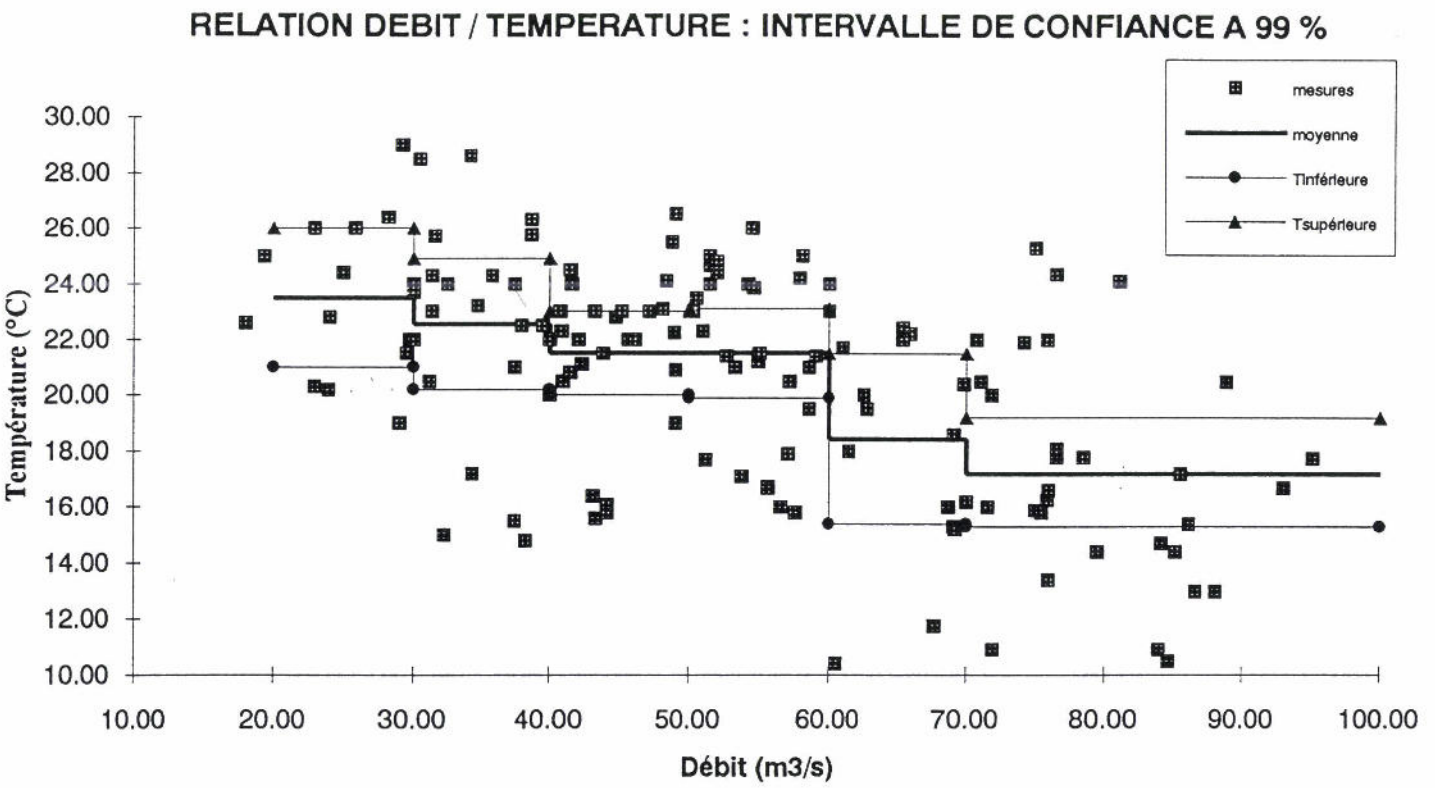
4.PRISE EN COMPTE DE LA TEMPERATURE

La dégradation de l'ammoniaque s'effectue par voie bactériologique au cours du processus de nitrification. L'aptitude des bactéries à dégrader la pollution dépend de leur taux de croissance qui est fortement lié à la température de l'eau.
A l'issue d'une recherche bibliographique, nous disposons des lois d'évolution du taux de croissance des bactéries suivantes:

TAUX DE CROISSANCE DE NITROSOMONAS



Par ailleurs on peut penser que la température de l'eau dépend du débit de la Garonne; bien que la corrélation ne soit pas trés bonne nous avons associé à chaque plage de débit un intervalle de température probable de l'eau.
Nous obtenons:



Pour chaque plage de débit les valeurs moyennes de la température, le minimum et le maximum de l'intervalle de confiance à 99% sont reportés dans le tableaux ci-après:

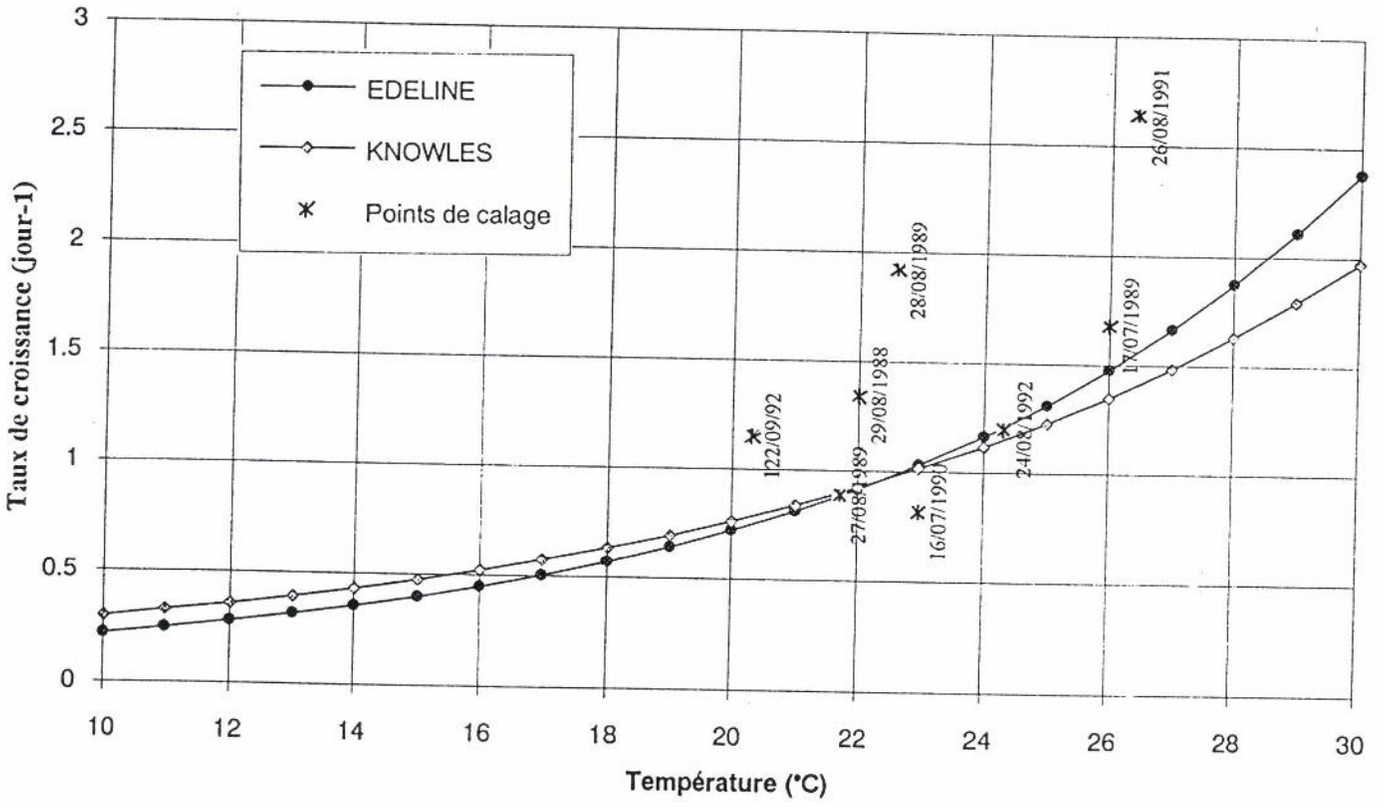
Classe de débit sur le tronçon de nitrification (m3/s)	Tinférieure (°C)	Tmoyenne (°C)	Tsupérieure (°C)
20-30	21	23.5	26
30-40	20.2	22.6	24.9
40-50	20	21.5	23
50-60	19.9	21.5	23.1
60-70	15.4	18.4	21.5
70-100	15.3	17.2	19.2

5. CALAGE DU MODELE

Le but de cette partie est de simuler des jours particuliers où des mesures sur la Garonne sont disponibles, afin de déterminer le calage du taux de croissance des bactéries.
Nous disposons pour chacun des 8 jours de simulation des données de rejet, de débit et de température de l'eau sur la Garonne ainsi que des mesures des teneurs en ammoniaque à Verdun sur Garonne.
Nous avons modifié le taux de croissance des bactéries pour chaque jour de calage afin de faire coincider mesures et résultats avec une erreur relative inférieure à 15%.

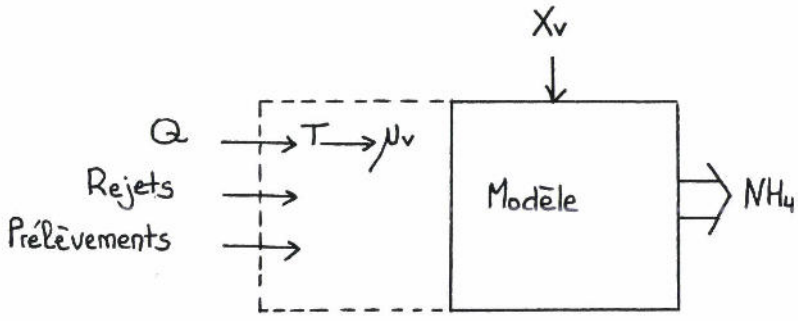
Chaque valeur de calage est reportée sur le graphe ci-dessous:

TAUX DE CROISSANCE DE NITROSOMONAS



Il apparait que la loi d'EDELINE est la mieux adaptée à notre situation. Nous adopterons donc pour les simulations de scénarios cette loi d'évolution des bactéries.

Néanmoins établir ce lien entre le taux de croissance des bactéries et la température de l'eau revient à considérer ce paramètre μv comme une entrée du modèle et non comme un paramètre de calage.
Pour tout débit de la Garonne, la température de l'eau est connue et par là le taux de croissance des bactéries également, nous sommes alors face à un système bouclé (la teneur en biomasse active Xv n'influençant que trés peu les résultats).
On peut schématiser le problème ainsi:



6. LES SCENARIOS DE POLLUTION

Nous avons simulé plusieurs situations de pollution dans la Garonne couplées à des débits d'étiage plus ou moins sévères.
Les scénarios sont les suivants :

FLUX DE POLLUTION :

1) Situation 90-91 :		
	S.C.G.P.	NK=2.2 t/j , NH4=2.83 t/j
	GINESTOUS	NK=3.5 t/j , NH4=3.93 t/j
2) Objectif Court Terme		
	S.C.G.P.	NK=1.5 t/j , NH4=1.93 t/j
	GINESTOUS	NK=2.2 t/j , NH4=2.54 t/j
3) Objectif Long Terme		
	S.C.G.P.	NK=0.8 t/j , NH4=1.03 t/j
	GINESTOUS	NK=1.2 t/j , NH4=1.4 t/j
4) Objectif Long Terme Réactualisé	S.C.G.P.	NK=1 t/j , NH4=1.29 t/j
	GINESTOUS	NK=1.2 t/j , NH4=1.4 t/j

DEBIT A PORTET

a) Débit "seuil d'alerte renforcé"	=30 m3/s
b) Débit d'étiage quinquenal non soutenu	=43 m3/s
c) Débit d'étiage quinquenal soutenu	=53 m3/s
d) Débit d'étiage médian	=61 m3/s

Afin d'étudier l'impact de la température de l'eau sur le processus de nitrification nous avons associé à chaque débit de référence une plage de température.

Débit à Portet (m3/s)	Classe de débit sur le tronçon de nitrification	Tinférieure (°C)	Tmoyenne (°C)	Tsupérieure (°C)
30	20-30	21	23.5	26
43	30-40	20.2	22.6	24.9
53	40-50	20	21.5	23
61	50-60	19.9	21.5	23.1

7. RESULTATS DES SIMULATIONS

a) Influence du débit :

Dans un premier temps, pour chaque scénario, nous avons associé à chacun des débits de référence, la température moyenne correspondante.
Les résultats obtenus sont les suivants :

	Q Portet	30	43	53	61
	T moyenne	23.5	22.6	21.5	21.5
Situation 90-91	[NH4] Lacourtensourt	2.78	1.94	1.58	1.37
	[NH4] Verdun	1.14	0.98	0.86	0.79
Objectif Court Terme	[NH4] Lacourtensourt	1.83	1.31	1.07	0.94
	[NH4] Verdun	0.77	0.66	0.59	0.55
Objectif Long Terme	[NH4] Lacourtensourt	1.02	0.76	0.63	0.57
	[NH4] Verdun	0.46	0.4	0.37	0.34
Objectif Long Terme Actualisé	[NH4] Lacourtensourt	1.1	0.81	0.68	0.61
	[NH4] Verdun	0.48	0.43	0.39	0.36

Q en m3/s
Température en °C
[NH4] en mg/l

Au regard des seuils de concentrations donnés par les directives Européennes sur la qualité des eaux (pour la fabrication d'eau potable : 2 mg/l et pour la vie piscole : 1 mg/l), on note :

- une concentration en NH4 supérieure à 2 mg/l pour la seule situation de 90-91 avec un débit de 30 m^3/s à Portet.

- les objectifs de réduction des flux polluants à court et long terme vérifient quant à eux les valeurs seuils énoncées. A l'heure actuelle (juin 1994), l'objectif dénommé court terme dans la présente étude a été atteint pour les rejets de la SCGP, mais n'est pas atteint par Ginestous.

- en ce qui concerne la vie piscicole, seuls les objectifs long terme et long terme réactualisé permettent d'atteindre, sur tout le tronçon modélisé, la concentration guide de 1 mg/l, avec toutefois un léger dépassement en aval de Toulouse pour 30 m^3/s.

- pour assurer une concentration en ammoniaque inférieure à 1 mg/l sur tout le tronçon étudié, il est nécessaire avec les normes actuelles de rejet (Objectif court terme) de soutenir un débit d'étiage de l'ordre de 53 m^3/s à Portet sur Garonne.

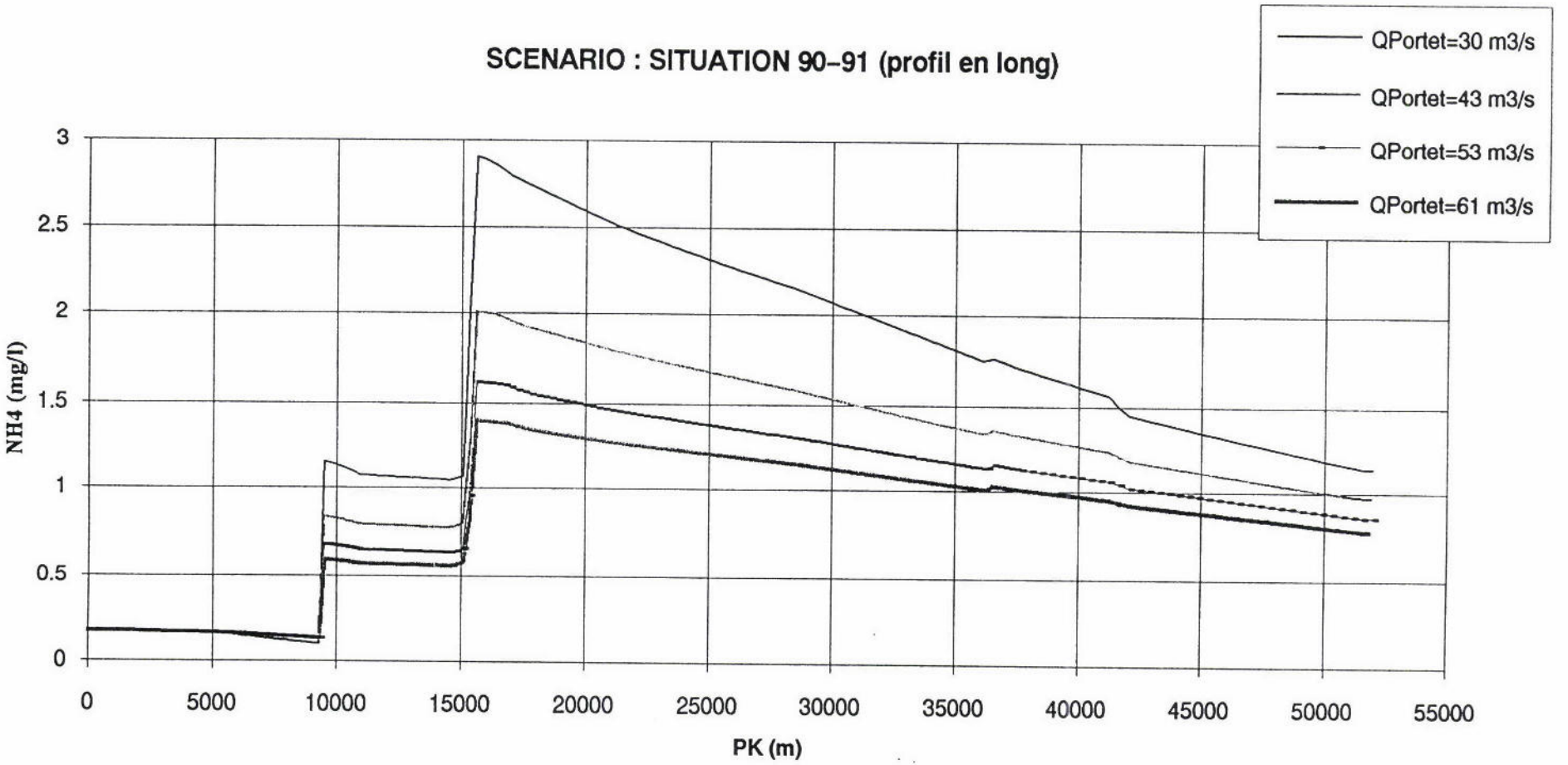
A Lacourtensourt, en aval immédiat du rejet de Ginestous, les teneurs en ammoniaque observées sont essentiellement influencées par le débit. En effet, lorsque le débit de la Garonne à Portet est multiplié par deux (de 30 à 61 m^3/s), la concentration en ammoniaque au droit du rejet est divisée par deux (voir tableau précédent). On retrouve donc par ces résultats le phénomène de dilution.

Par contre pour chaque situation, l'évolution du débit de 30 à 61 m^3/s ne nous permet plus d'observer de telles variations de NH4 à Verdun. La concentration ne diminue plus que de 25%.
Ceci est une conséquence du processus de nitrification. Plus le débit est faible, plus la température est élevée. Or, nous avons vu qu'une température élevée entraine une meilleure mobilisation des bactéries (croissance accrue) et donc une dégradation plus rapide de la pollution initiale.

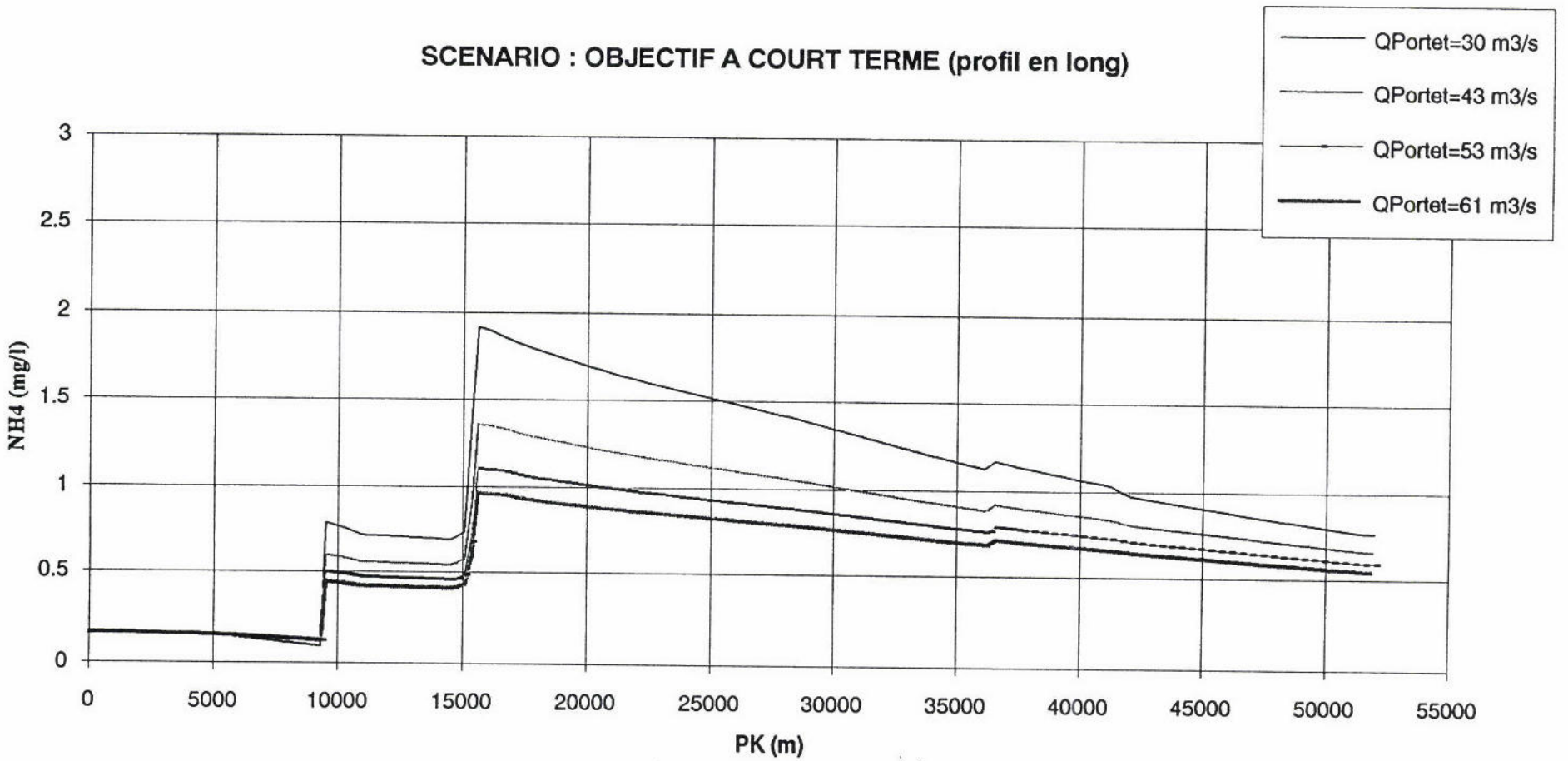
Les profils en long de ces simulations sont listés dans les pages suivantes.

Simulation des scénarios

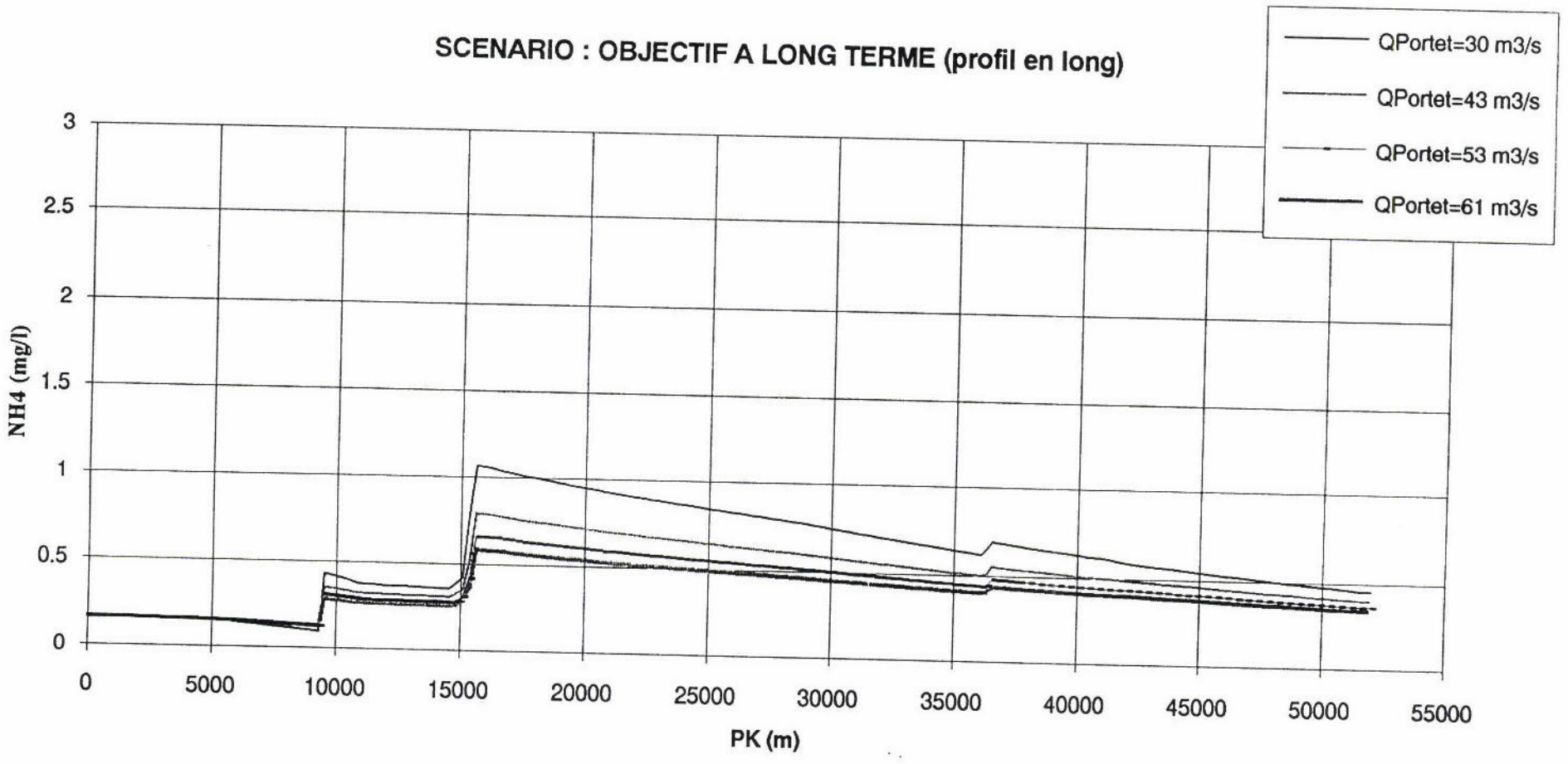
Incidence du débit de la Garonne sur l'évolution de NH4 à l'aval de Toulouse pour chaque hypothèse de flux polluants.



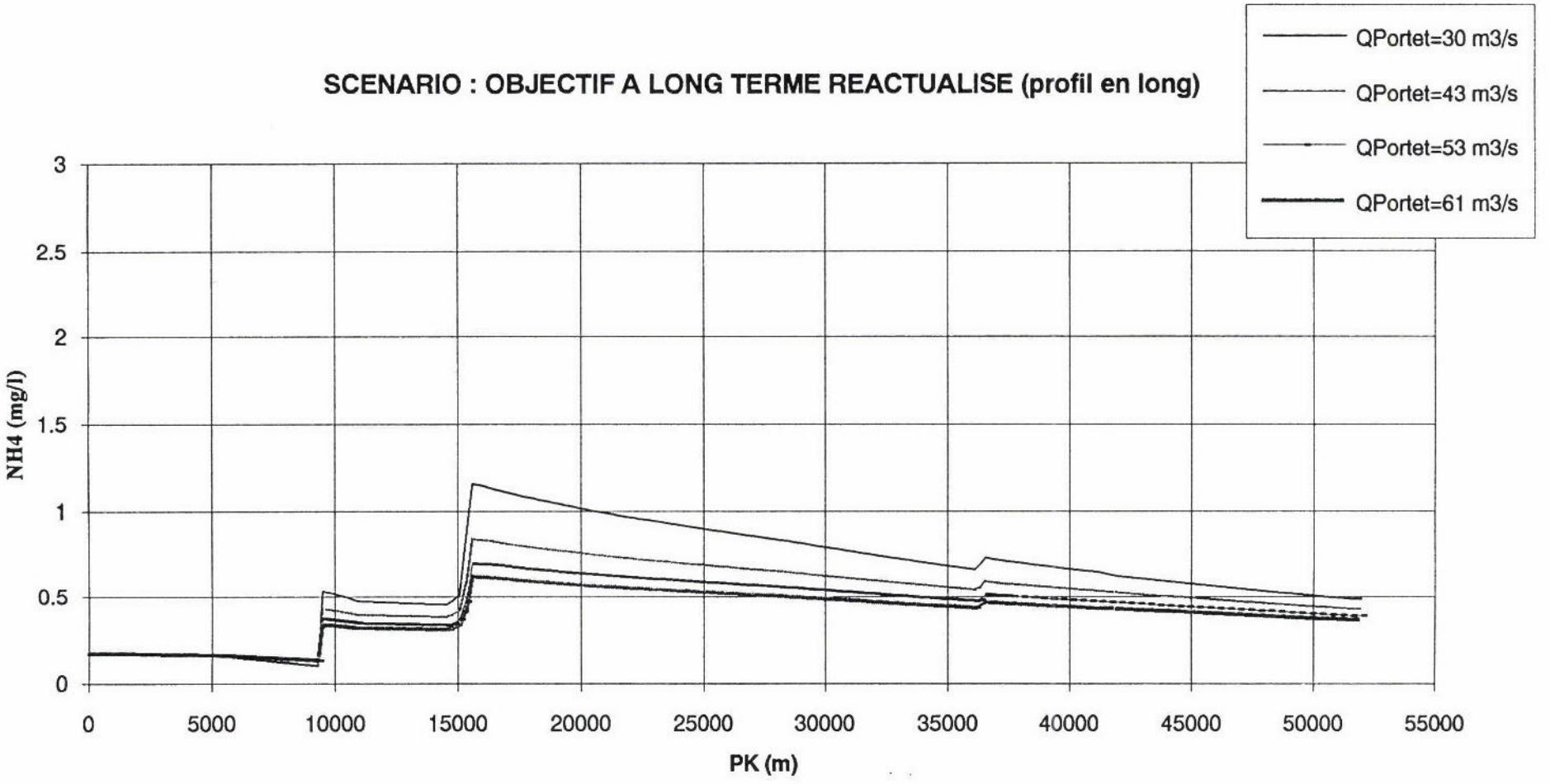
SCGP flux: NK=2.2 t/j NH4=2.83 t/j GINESTOUS flux: NK=3.5 t/j NH4=3.93 t/j



SCGP flux: NK=1.5 t/j NH4=1.93 t/j GINESTOUS flux: NK=2.2 t/j NH4=2.54 t/j



SCGP flux: NK=0.8 t/j NH4=1.03 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j



SCGP flux: NK=1 t/j NH4=1.29 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j

b) Influence de la température:

Nous avons simulé ici pour chaque débit testé 3 cas de température de l' eau: moyenne, bornes inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance à 99%.

Voir les courbes du profil en long de NH4 et les tableaux de résultats pages suivantes.

De façon générale, lorsque l'on fait varier la température entre le minimum et le maximum de sa classe, la concentration en ammoniaque à Lacourtensourt évolue peu (15% au maximum) et ceci pour chaque flux de pollution et de débit de la Garonne à Portet testé. Ceci s'explique par le fait que la nitrification ne démarre qu'à l'aval de Ginestous(2) et donc à Lacourtensourt elle ne s'est mise en route que depuis 2 kilomètres.
A l'opposé, la concentration en ammoniaque à Verdun peut varier du simple au double suivant que l'on considère un taux de croissance fort (θsup) ou bien un taux plus faible correspondant à la borne inférieure (θinf).

Ainsi on observe pour chacun des 4 scénarios que le cas le plus favorable au regard de la teneur en NH4 à Verdun est celui d'un débit de 30 m^3/s couplé à une température maximale de 26 °C (température observée pour un tel étiage).
Il apparait donc qu'un étiage modéré avec une température des eaux faible, s'avère plus défavorable à Verdun qu'un étiage plus sévère mais avec une température plus forte.

(2) Résultat montré par les travaux antérieurs du laboratoire Génie des Procédés Industriels de l'I.N.S.A. cités au début de ce rapport.

Simulation des scénarios

Incidence de la température de l'eau sur l'évolution de la concentration en ammoniaque à l'aval de Toulouse pour chaque hypothèse de flux polluants et chaque débit d'étiage.

SIMULATION DES SCENARIOS

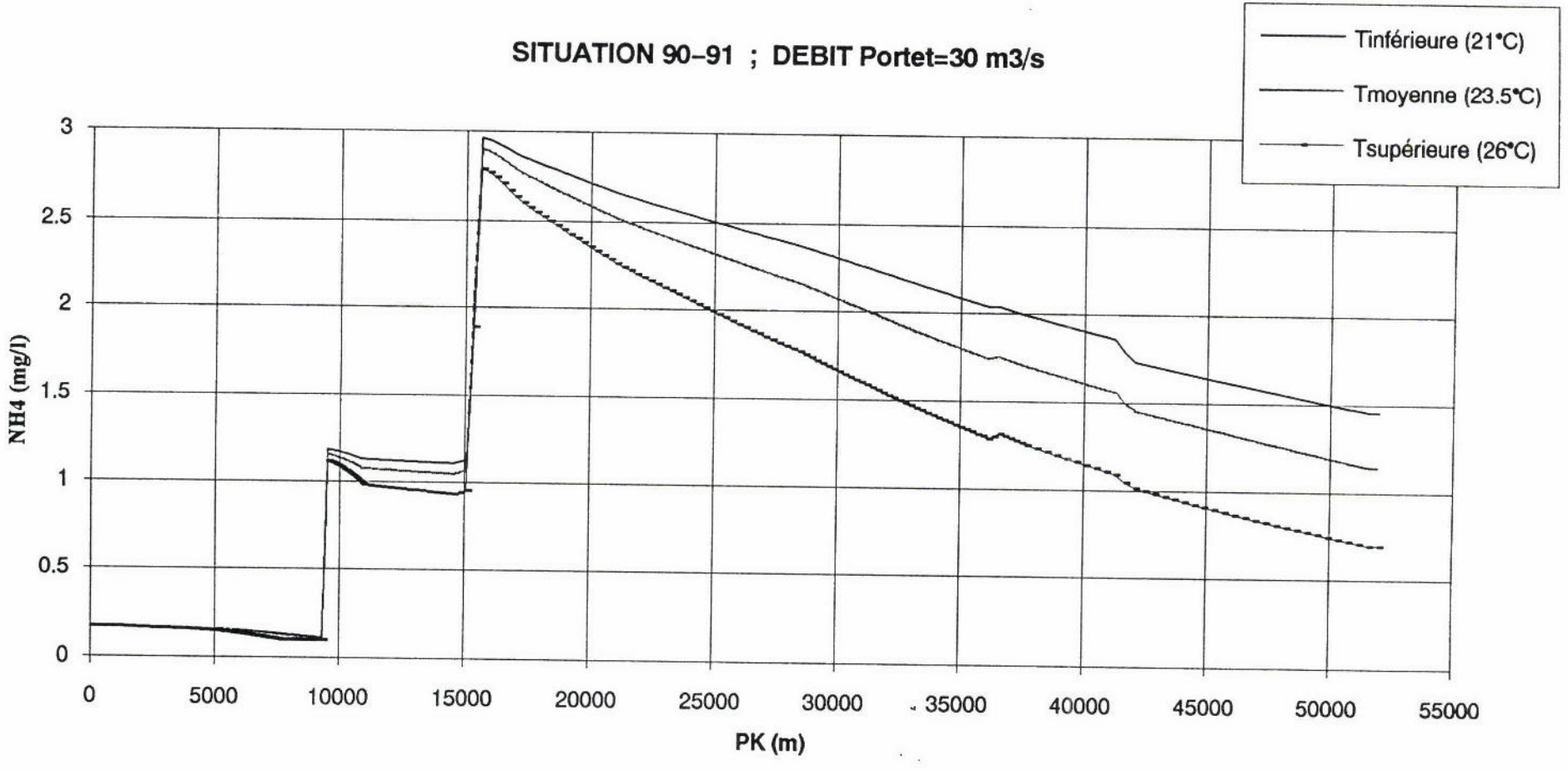
titre du scénario : **SITUATION 90-91**

Rejet de la SCGP : N-K= 2.2 t/j
N-NH4= 2.83 t/j

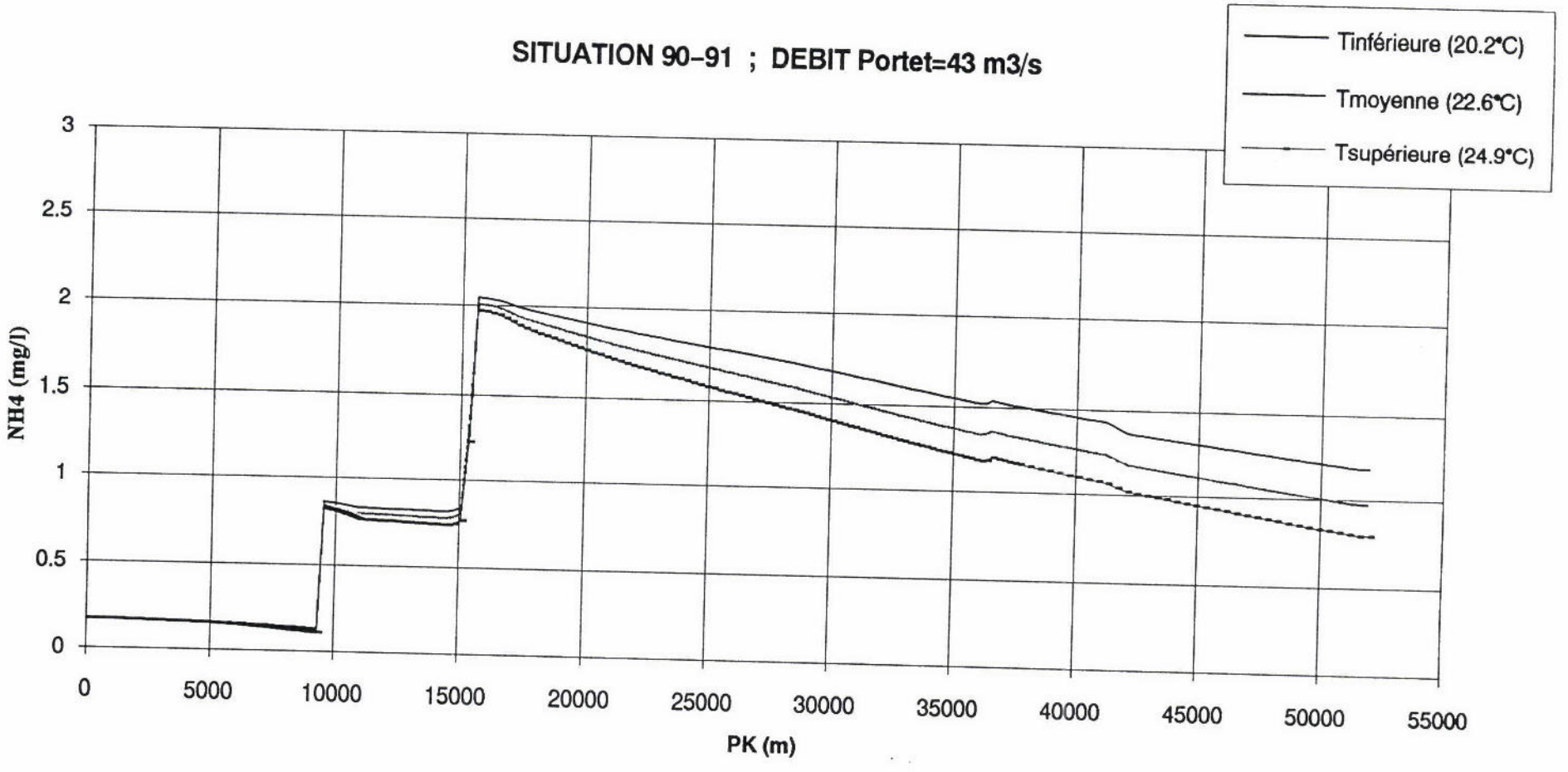
Rejet de GINESTOUS : N-K= 3.5 t/j
N-NH4= 3.93 t/j

TABLEAU DES RESULTATS

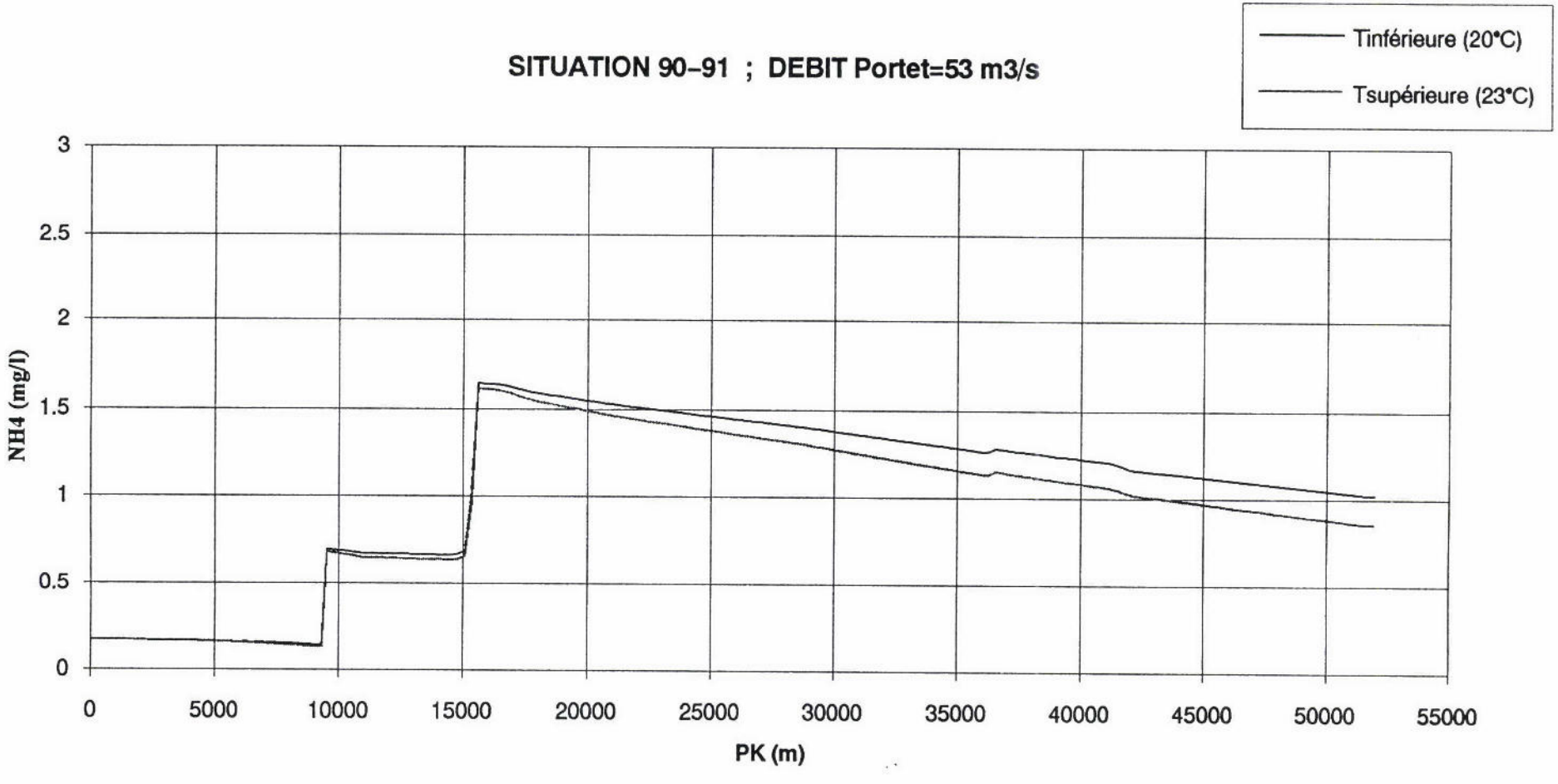
Débit à Portet	30 m3/s			43 m3/s			53 m3/s			61 m3/s		
Température de l'eau (°C)	21	23.5	26	20.2	22.6	24.9	20	21.5	23	19.9	21.5	23.1
μv (en heure-1)	0.034	0.045	0.061	0.031	0.041	0.054	0.03	0.036	0.043	0.03	0.036	0.043
[NH4] (en mg/l) calculé à:												
Lacourtensourt	2.87	2.78	2.61	2	1.94	1.89	1.61	1.58	1.58	1.41	1.37	1.37
Verdun sur Garonne	1.46	1.14	0.7	1.19	0.98	0.8	1.03	0.86	0.86	0.93	0.79	0.79



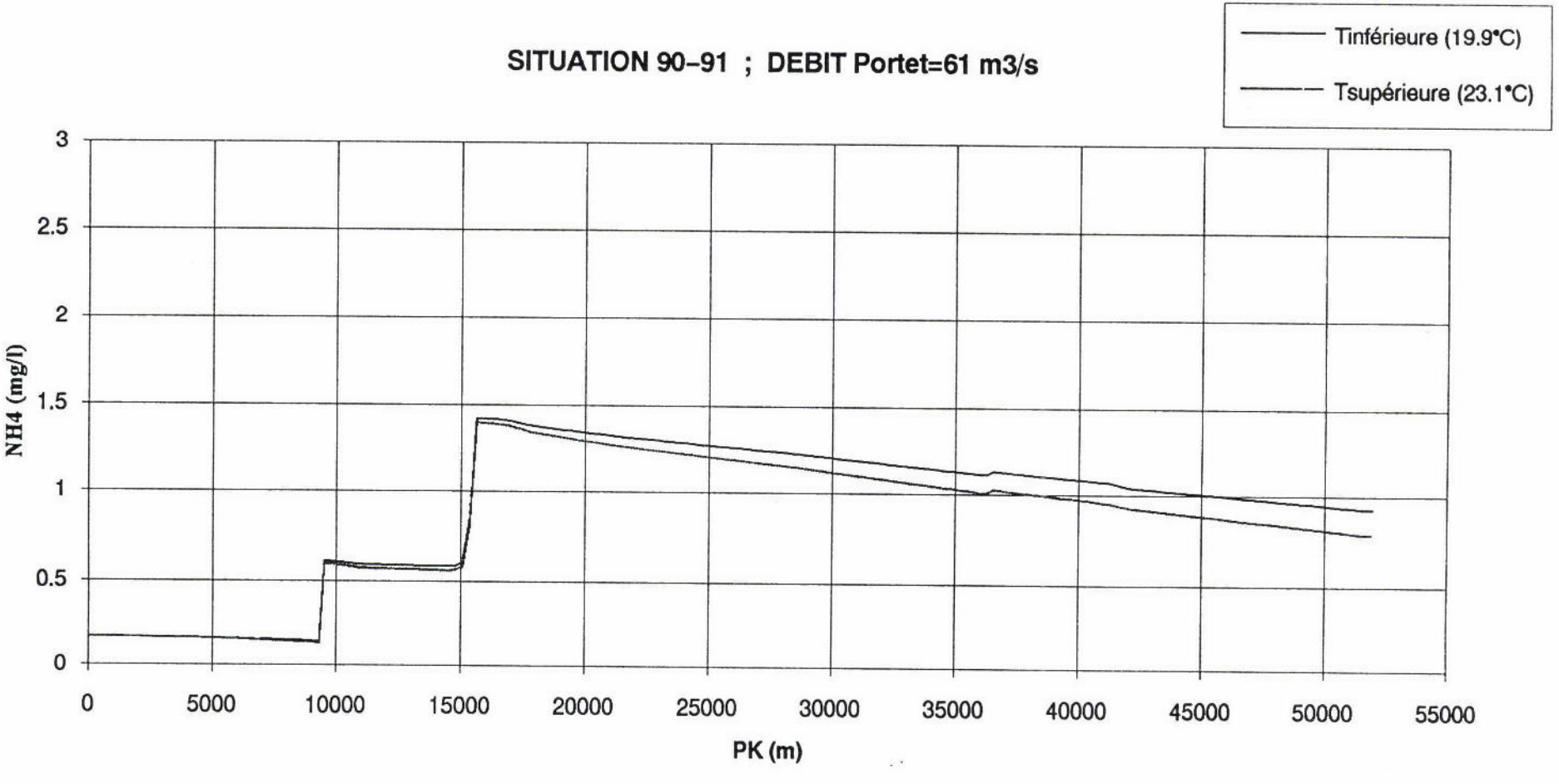
SCGP flux: NK=2.2 t/j NH4=2.83 t/j GINESTOUS flux: NK=3.5 t/j NH4=3.93 t/j



SCGP flux: NK=2.2 t/j NH4=2.83 t/j GINESTOUS flux: NK=3.5 t/j NH4=3.93 t/j



SCGP flux: NK=2.2 t/j NH4=2.83 t/j GINESTOUS flux: NK=3.5 t/j NH4=3.93 t/j



SCGP flux: NK=2.2 t/j NH4=2.83 t/j GINESTOUS flux: NK=3.5 t/j NH4=3.93 t/j

SIMULATION DES SCENARIOS

titre du scénario : **OBJECTIF COURT TERME**

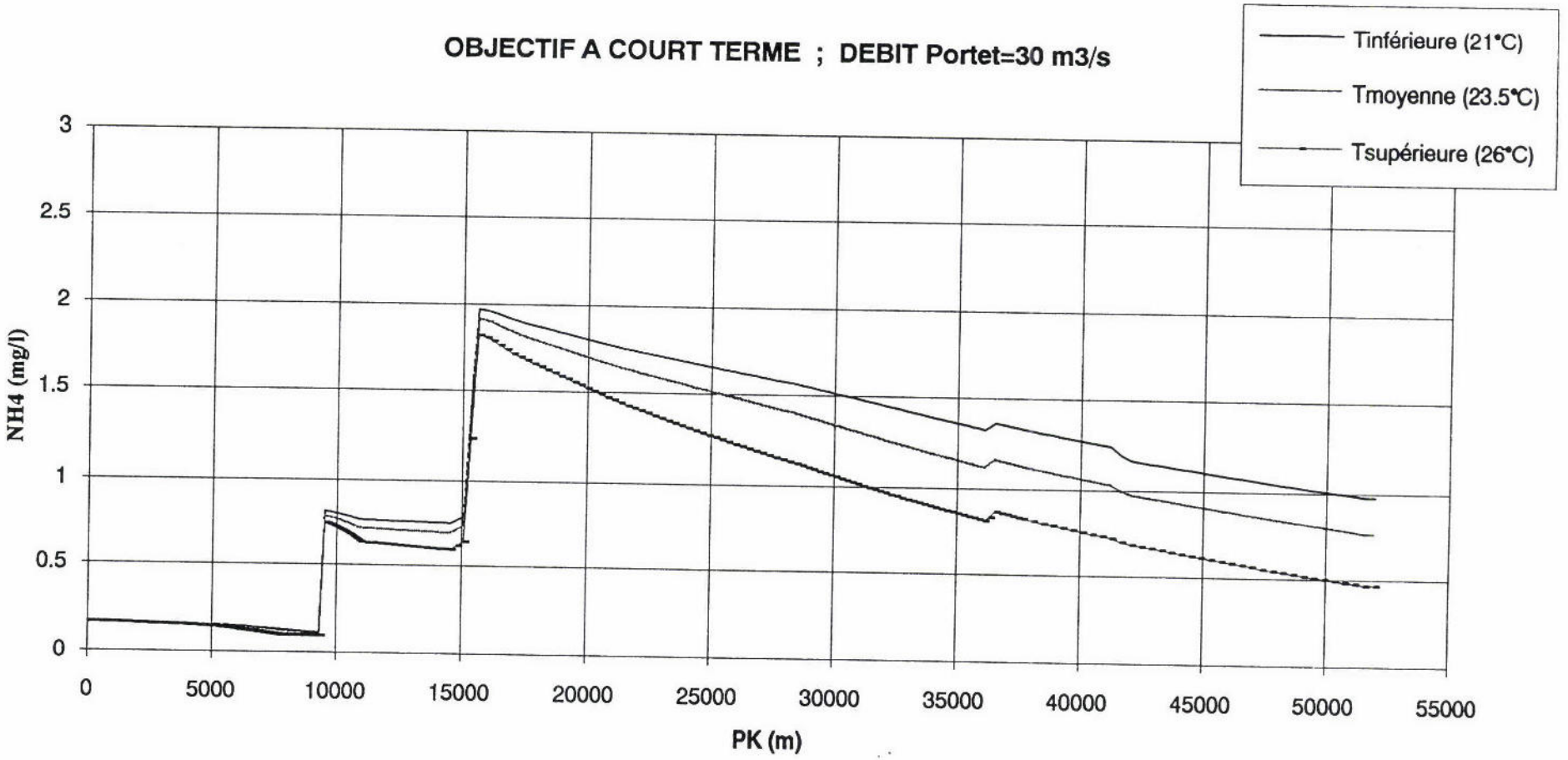
Rejet de la SCGP : N-K= 1.5 t/j
N-NH4= 1.93 t/j

Rejet de GINESTOUS : N-K= 2.2 t/j

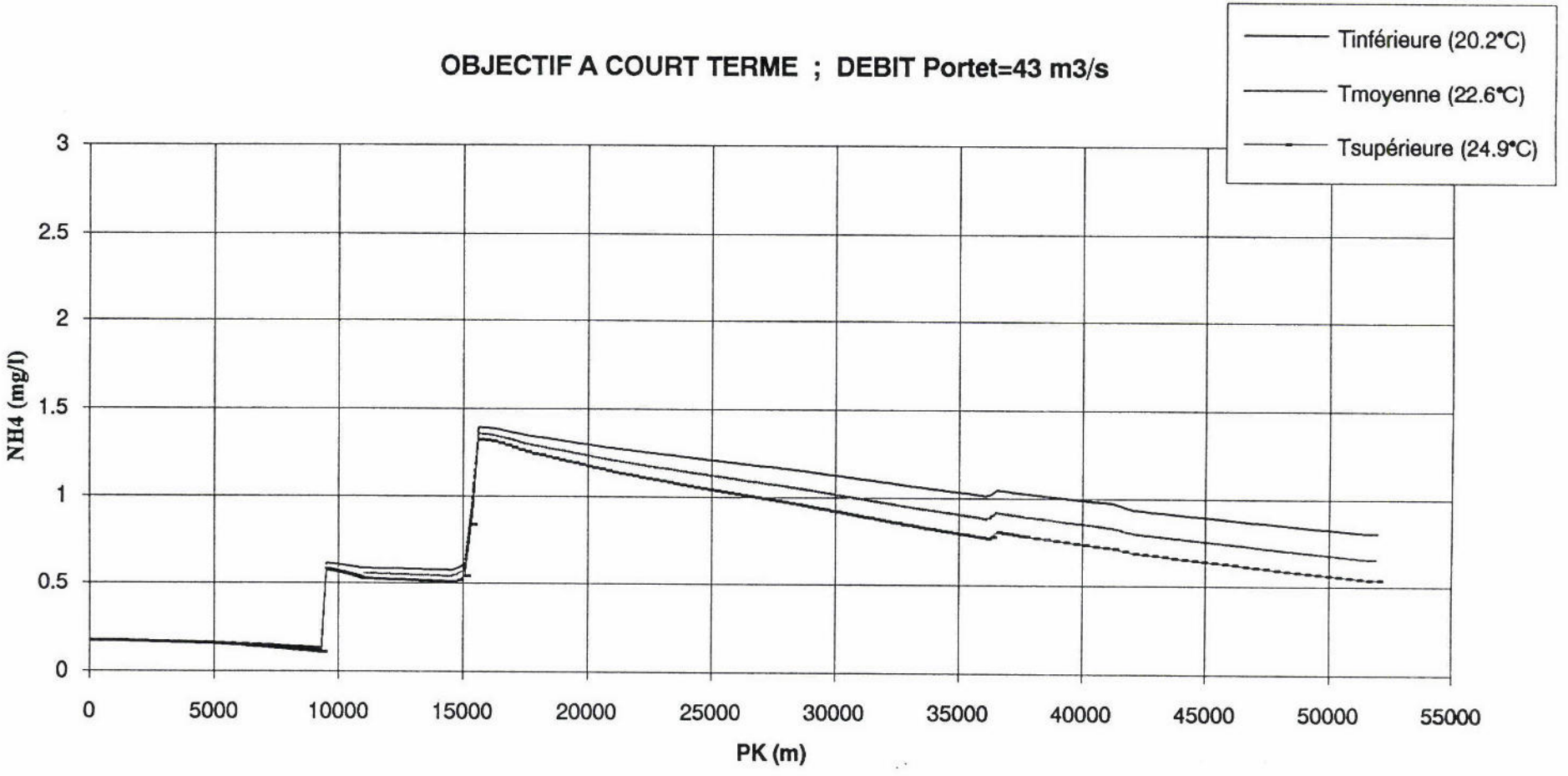
N-NH4= 2.54 t/j

TABLEAU DES RESULTATS

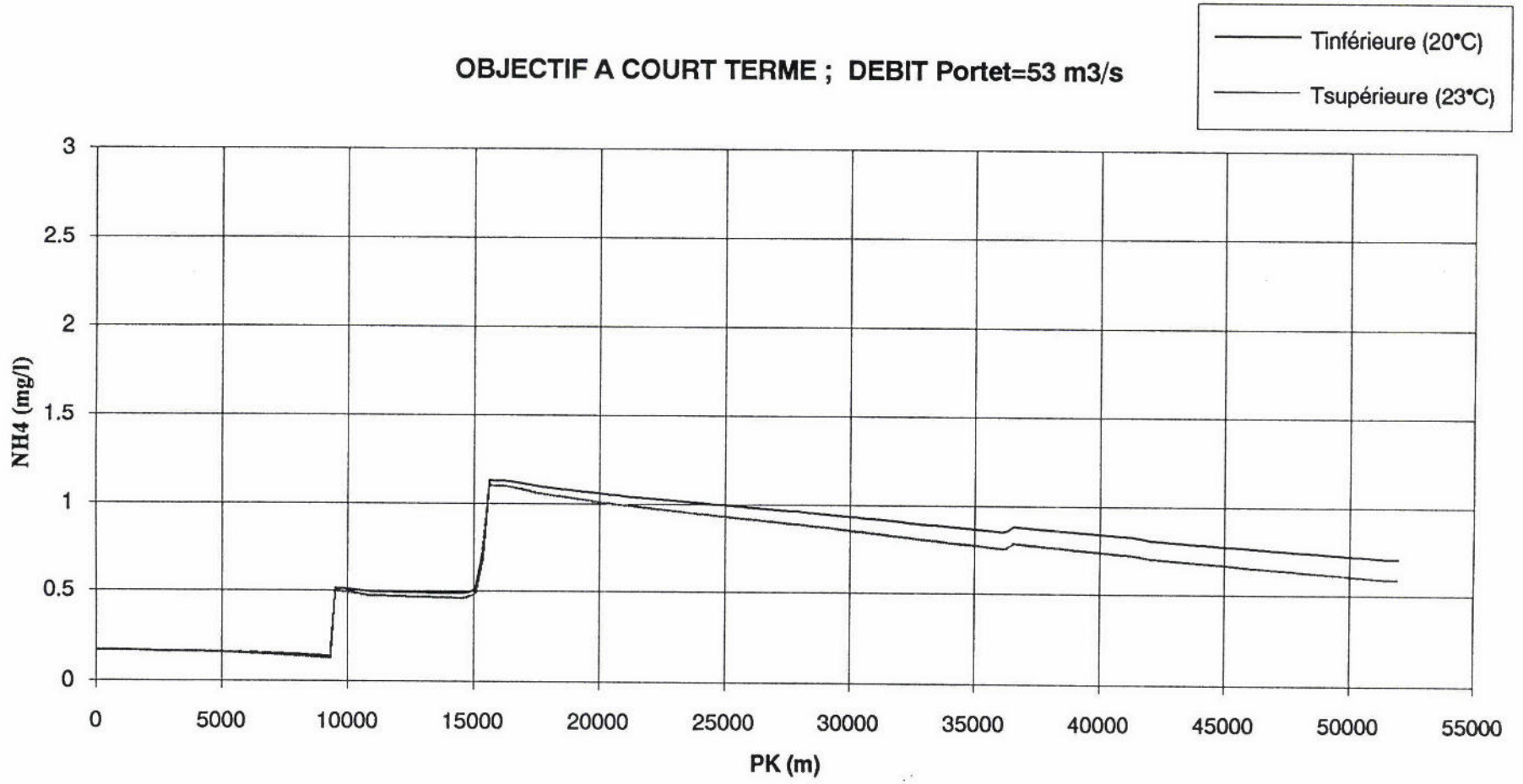
Débit à Portet	30 m3/s			43 m3/s			53 m3/s			61 m3/s		
Température de l'eau (°C)	21	23.5	26	20.2	22.6	24.9	20	21.5	23	19.9	21.5	23.1
μv (en heure-1)	0.034	0.045	0.061	0.031	0.041	0.054	0.03	0.036	0.043	0.03	0.036	0.043
[NH4] (en mg/l) calculé à:												
Lacourtensourt	1.9	1.83	1.7	1.35	1.31	1.26	1.11	1.07	1.07	0.97	0.94	0.94
Verdun sur Garonne	0.98	0.77	0.47	0.81	0.66	0.54	0.71	0.59	0.59	0.65	0.55	0.55



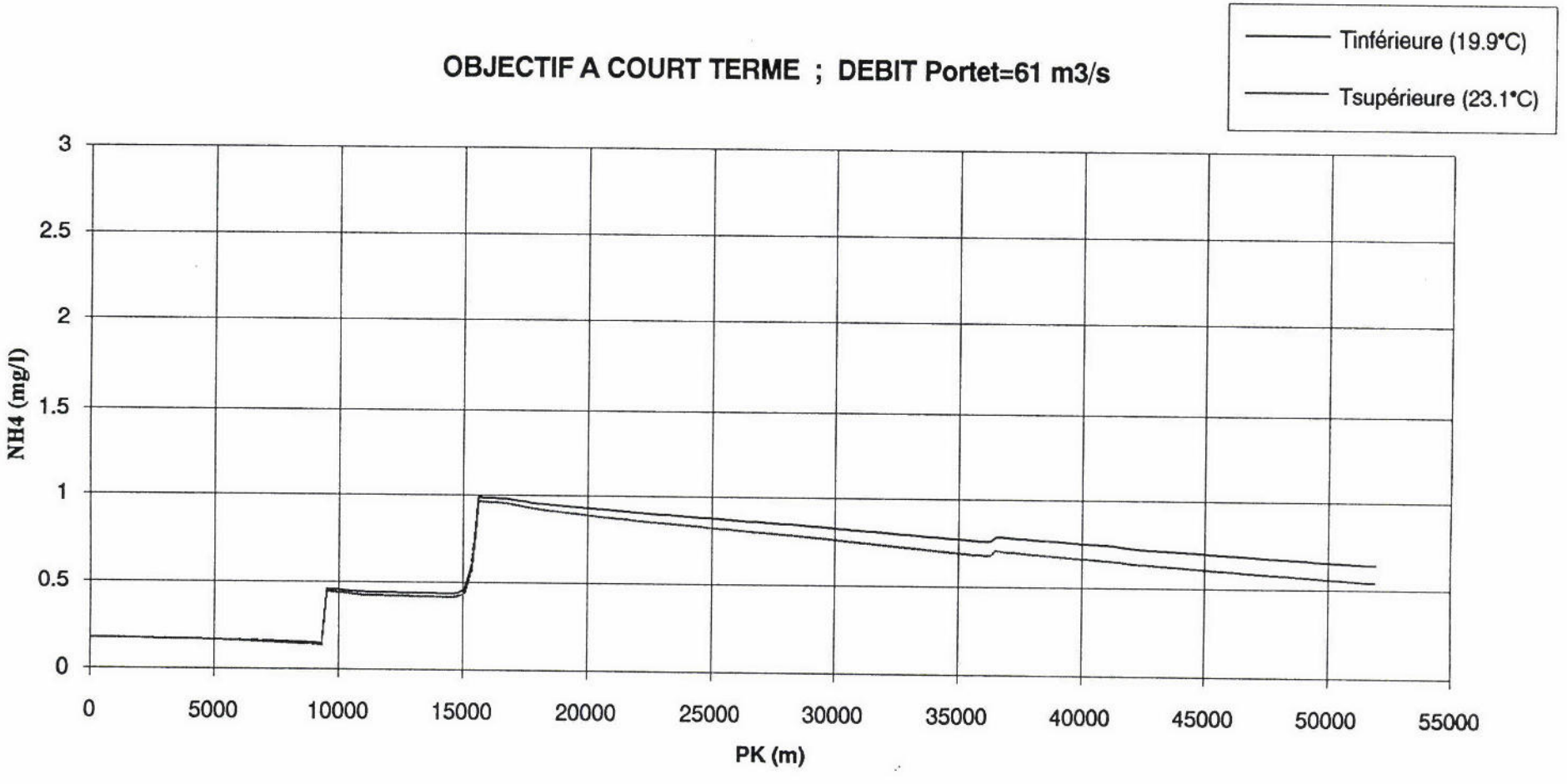
SCGP flux: NK=1.5 t/j NH4=1.93 t/j GINESTOUS flux: NK=2.2 t/j NH4=2.54 t/j



SCGP flux: NK=1.5 t/j NH4=1.93 t/j GINESTOUS flux: NK=2.2 t/j NH4=2.54 t/j



SCGP flux: NK=1.5 t/j NH4=1.93 t/j GINESTOUS flux: NK=2.2 t/j NH4=2.54 t/j



SCGP flux: NK=1.5 t/j NH4=1.93 t/j GINESTOUS flux: NK=2.2 t/j NH4=2.54 t/j

SIMULATION DES SCENARIOS

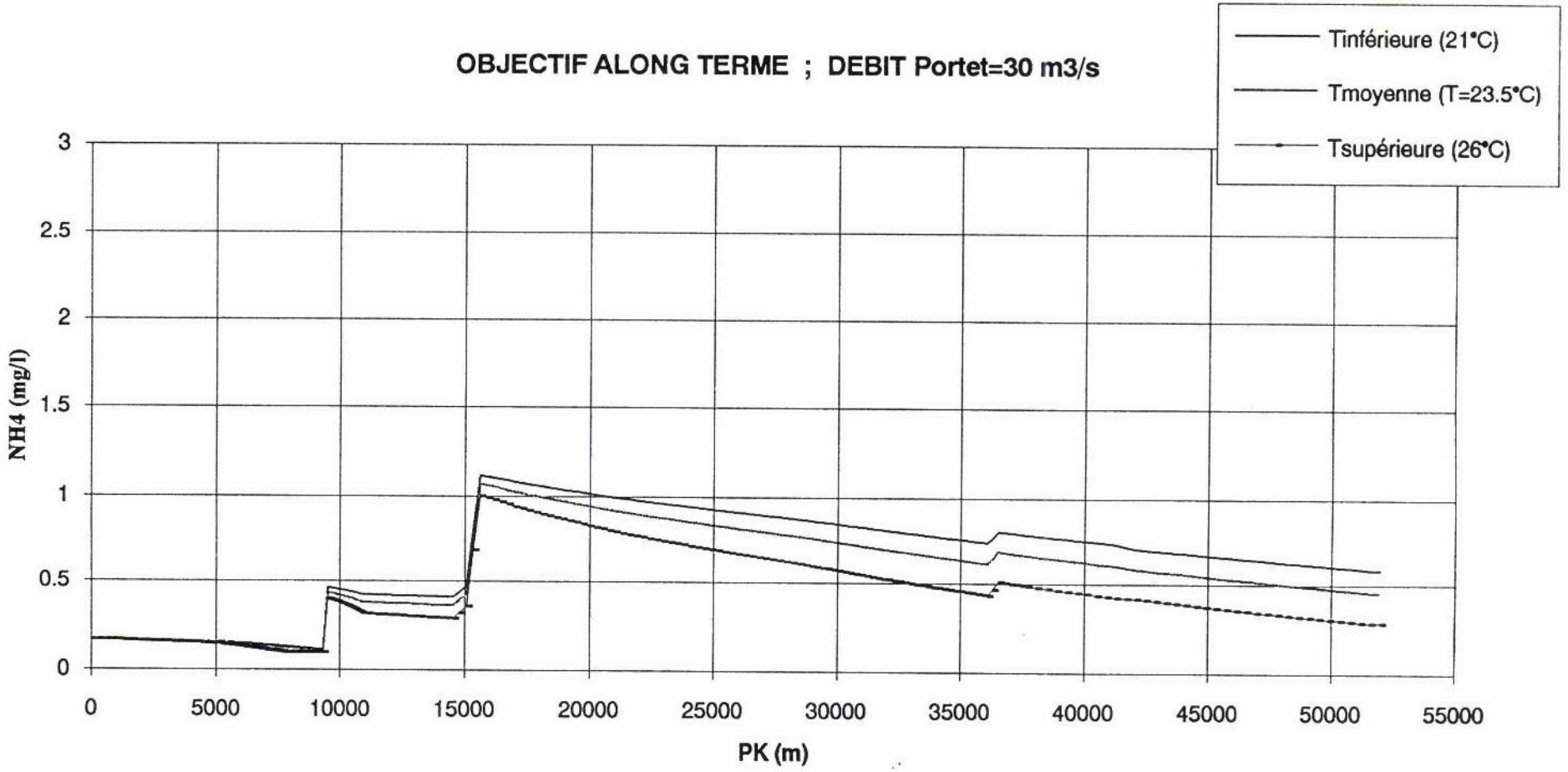
titre du scénario : **OBJECTIF LONG TERME**

Rejet de la SCGP : N-K= 0.8 t/j
N-NH4= 1.03 t/j

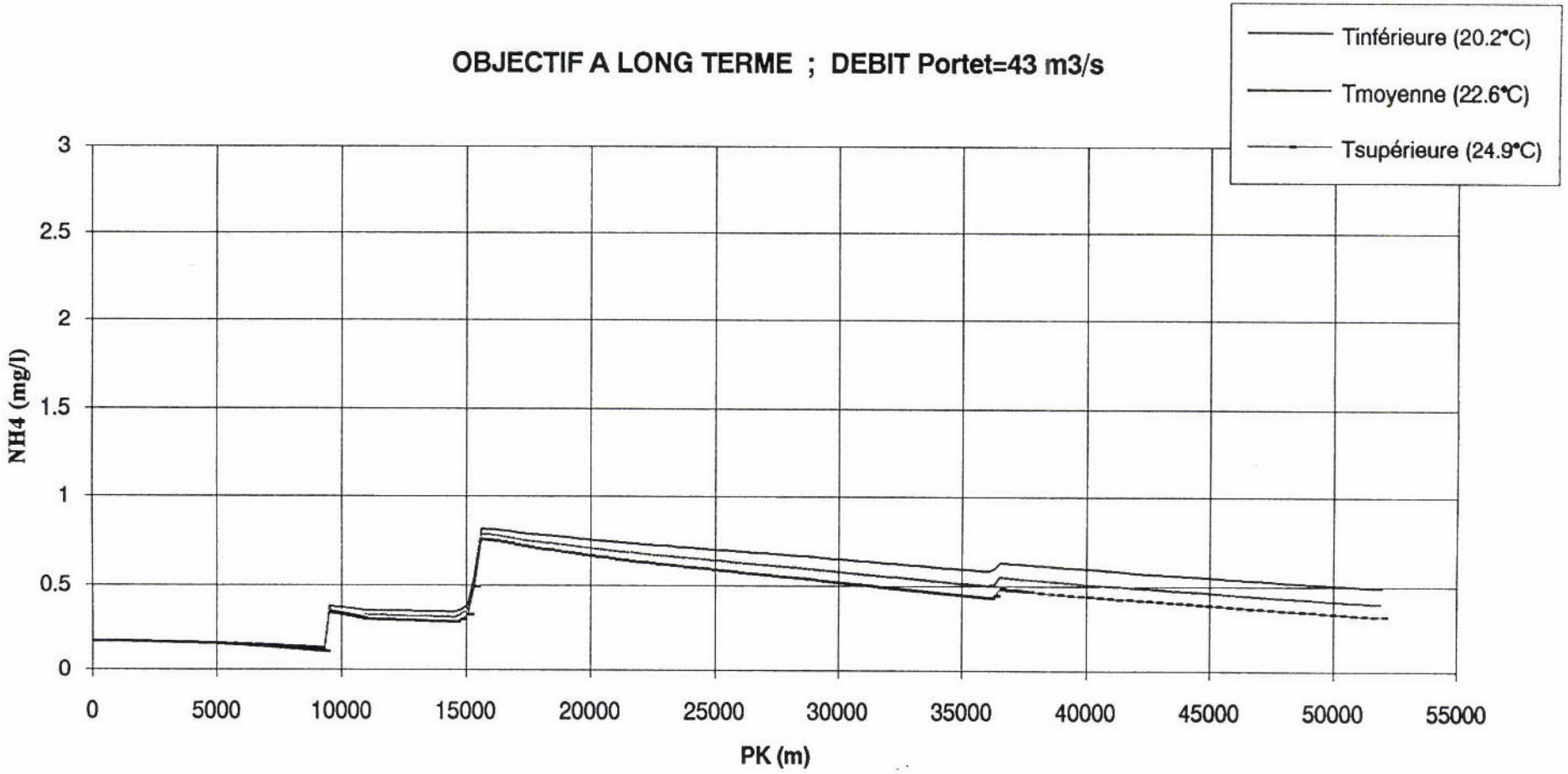
Rejet de GINESTOUS : N-K= 1.2 t/j
N-NH4= 1.4 t/j

TABLEAU DES RESULTATS

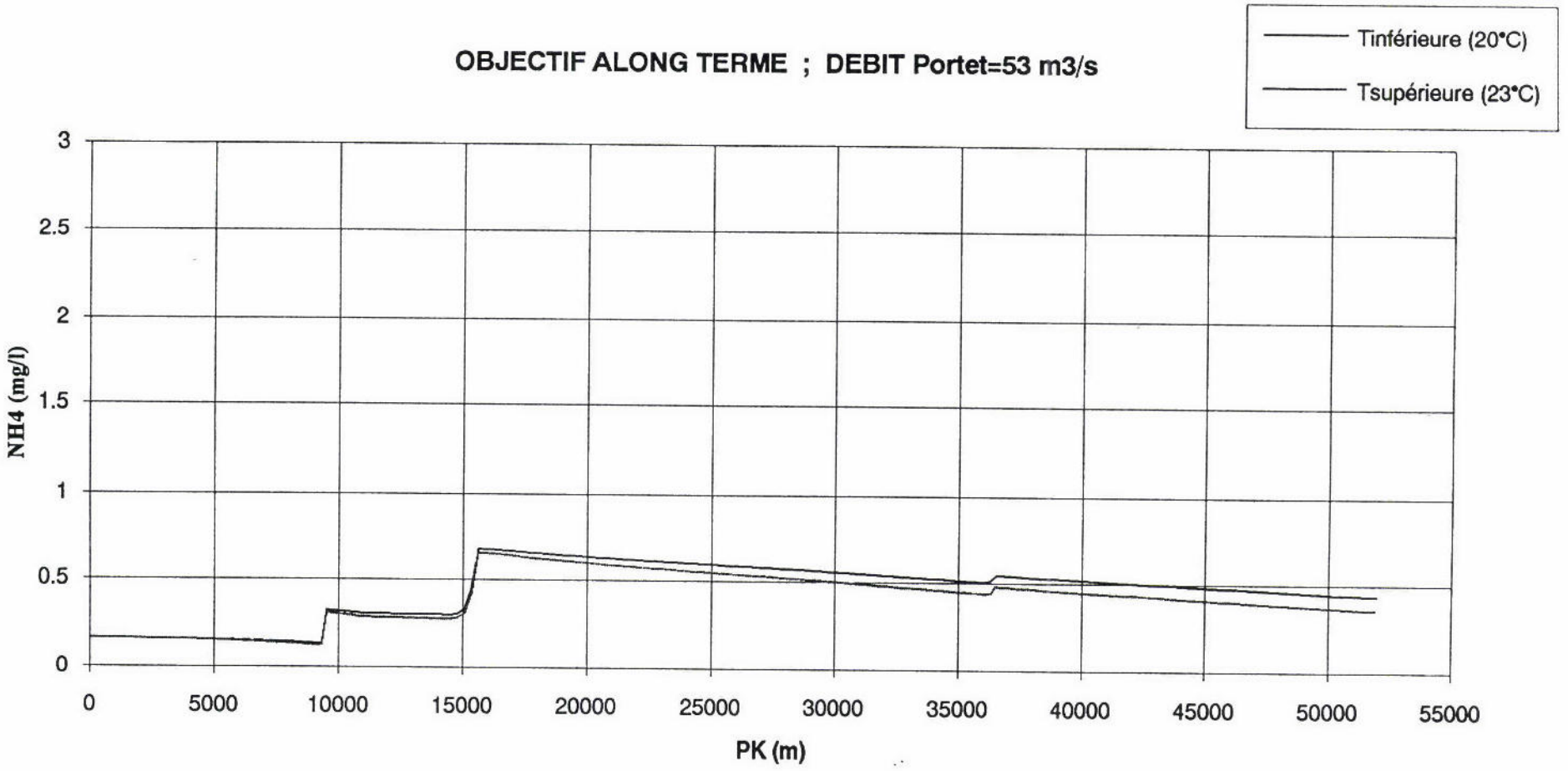
Débit à Portet	30 m3/s			43 m3/s			53 m3/s			61 m3/s		
Température de l'eau (°C)	21	23.5	26	20.2	22.6	24.9	20	21.5	23	19.9	21.5	23.1
μv (en heure-1)	0.03	0.045	0.061	0.031	0.041	0.054	0.03	0.036	0.043	0.03	0.036	0.043
[NH4] (en mg/l) calculé à:												
Lacourtensourt	1.08	1.02	0.93	0.79	0.76	0.72	0.66	0.63	0.63	0.59	0.57	0.57
Verdun sur Garonne	0.59	0.46	0.29	0.5	0.4	0.33	0.44	0.37	0.37	0.41	0.34	0.34



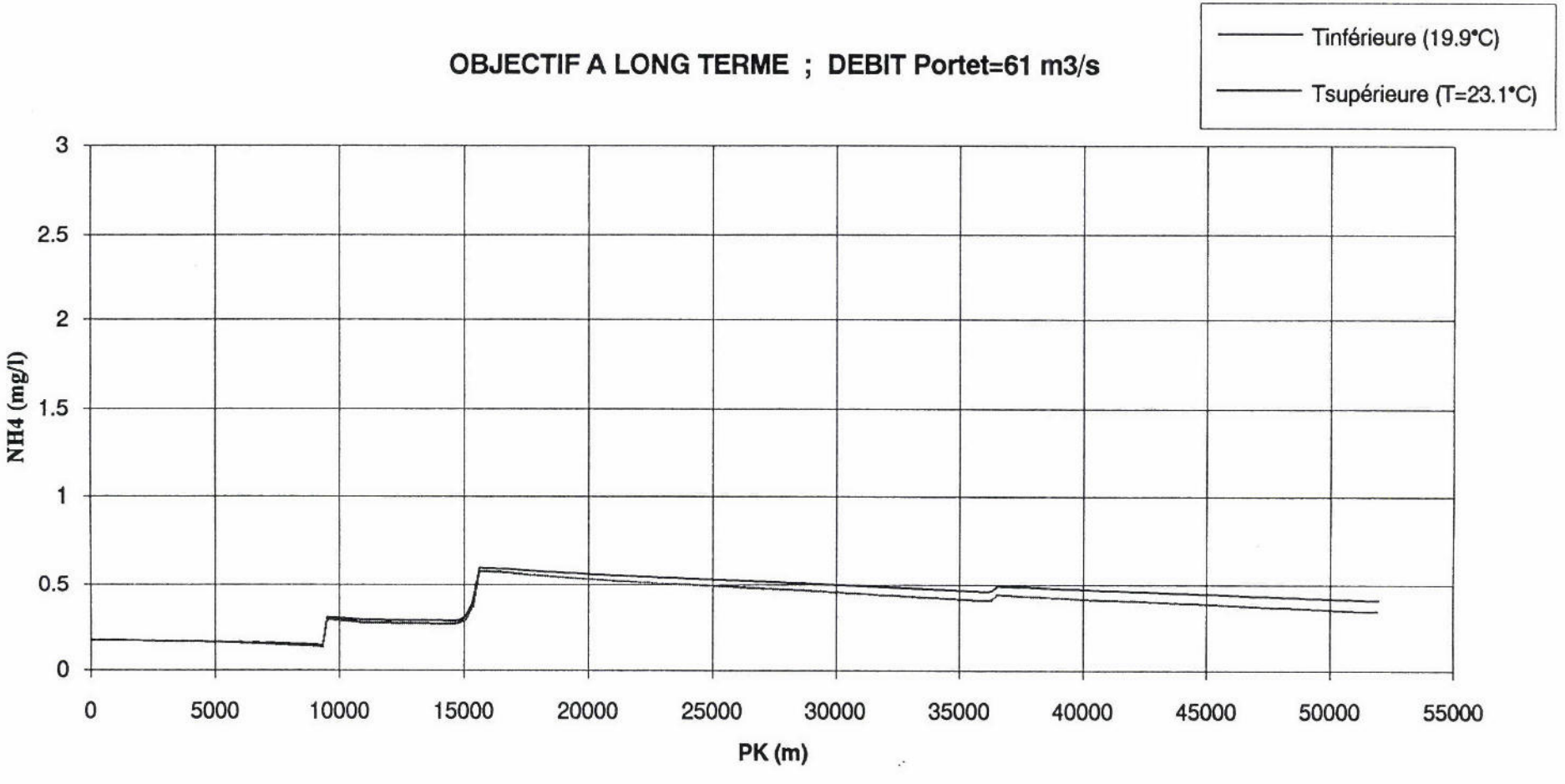
SCGP flux: NK=0.8 t/j NH4=1.03 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j



SCGP flux: NK=0.8 t/j NH4=1.03 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j



SCGP flux: NK=0.8 t/j NH4=1.03 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j



SCGP flux: NK=0.8 t/j NH4=1.03 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j

SIMULATION DES SCENARIOS

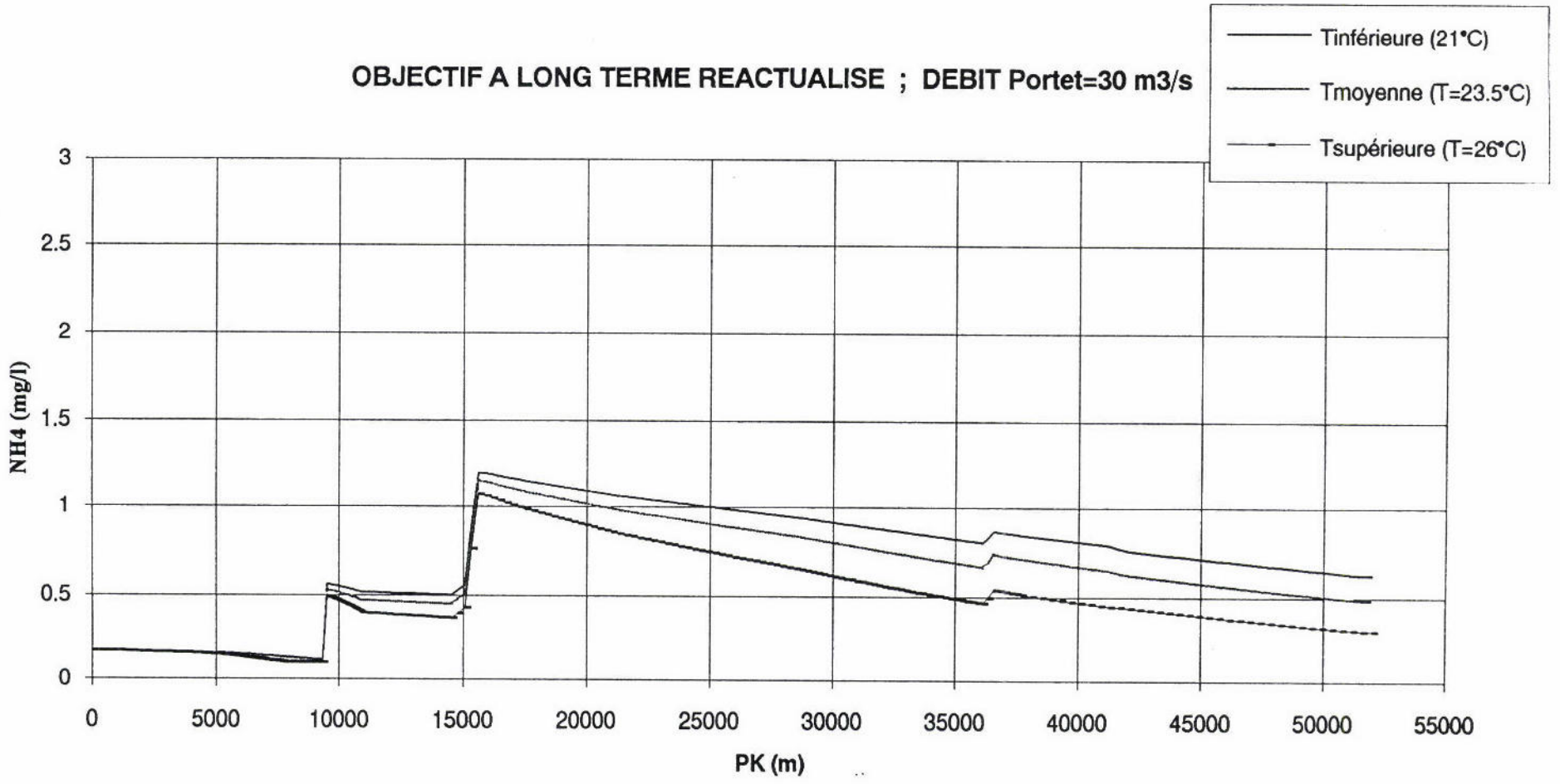
titre du scénario : **OBJECTIF LONG TERME REACTUALISE**

Rejet de la SCGP : N-K= 1 t/j
N-NH4= 1.29 t/j

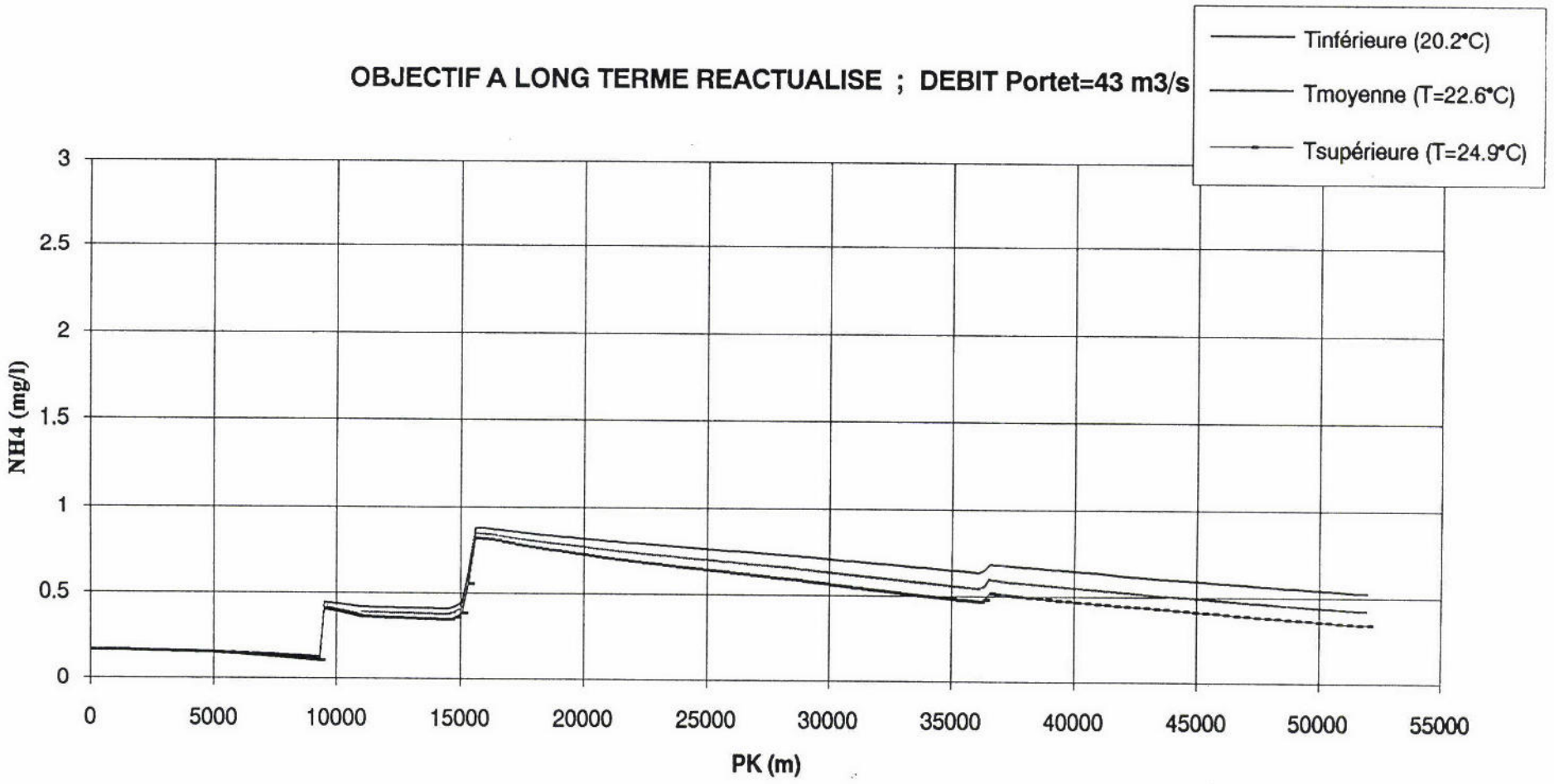
Rejet de GINESTOUS : N-K= 1.2 t/j
N-NH4= 1.4 t/j

TABLEAU DES RESULTATS

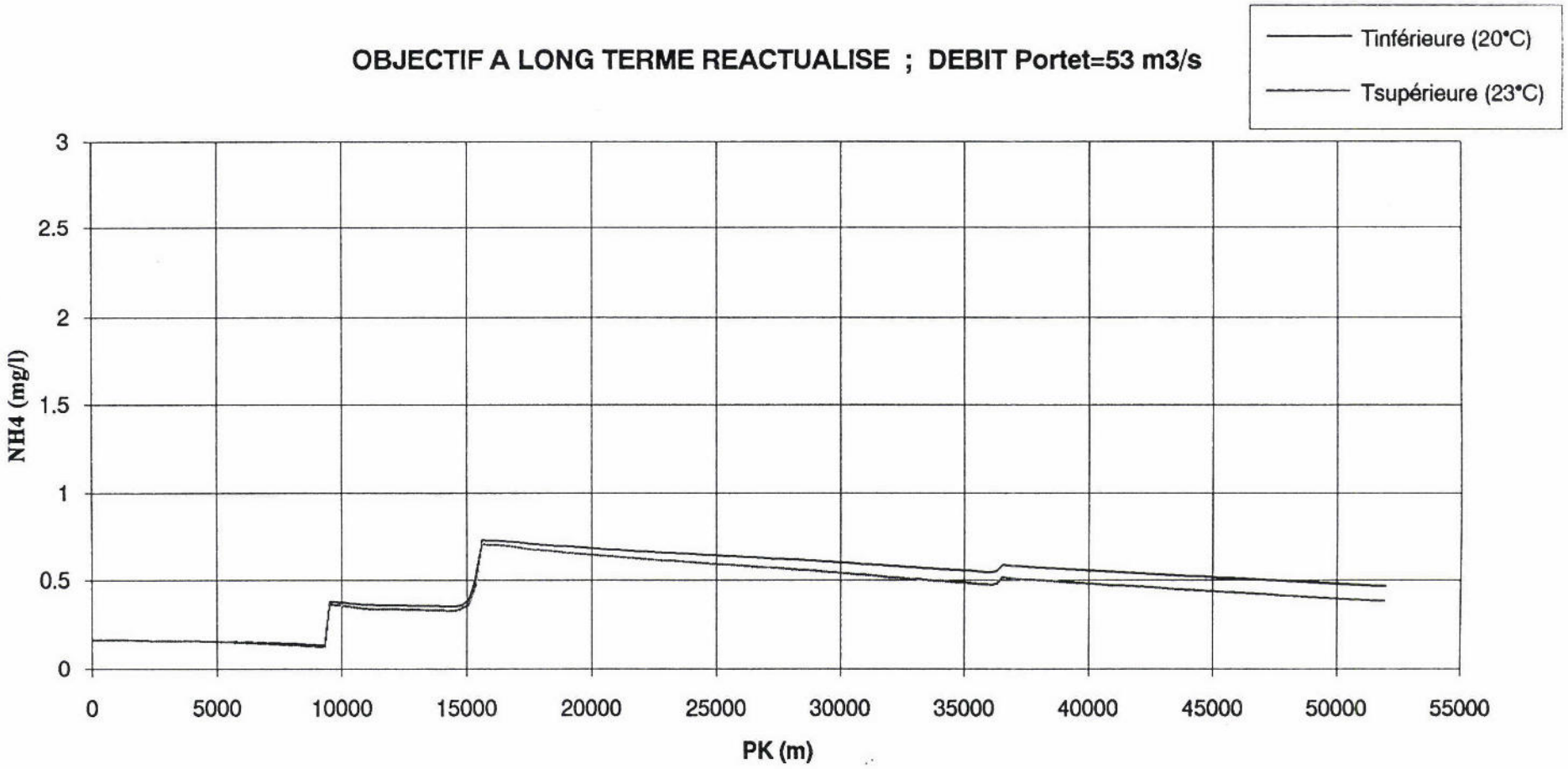
Débit à Portet	30 m3/s			43 m3/s			53 m3/s			61 m3/s		
Température de l'eau (°C)	21	23.5	26	20.2	22.6	24.9	20	21.5	23	19.9	21.5	23.1
μv (en heure-1)	0.034	0.045	0.061	0.03	0.041	0.054	0.03	0.04	0.043	0.03	0.036	0.043
[NH4] (en mg/l) calculé à:												
Lacourtensourt	1.16	1.1	1	0.85	0.81	0.78	0.71	0.68	0.68	0.63	0.61	0.61
Verdun sur Garonne	0.63	0.48	0.3	0.53	0.43	0.35	0.47	0.39	0.39	0.43	0.36	0.36



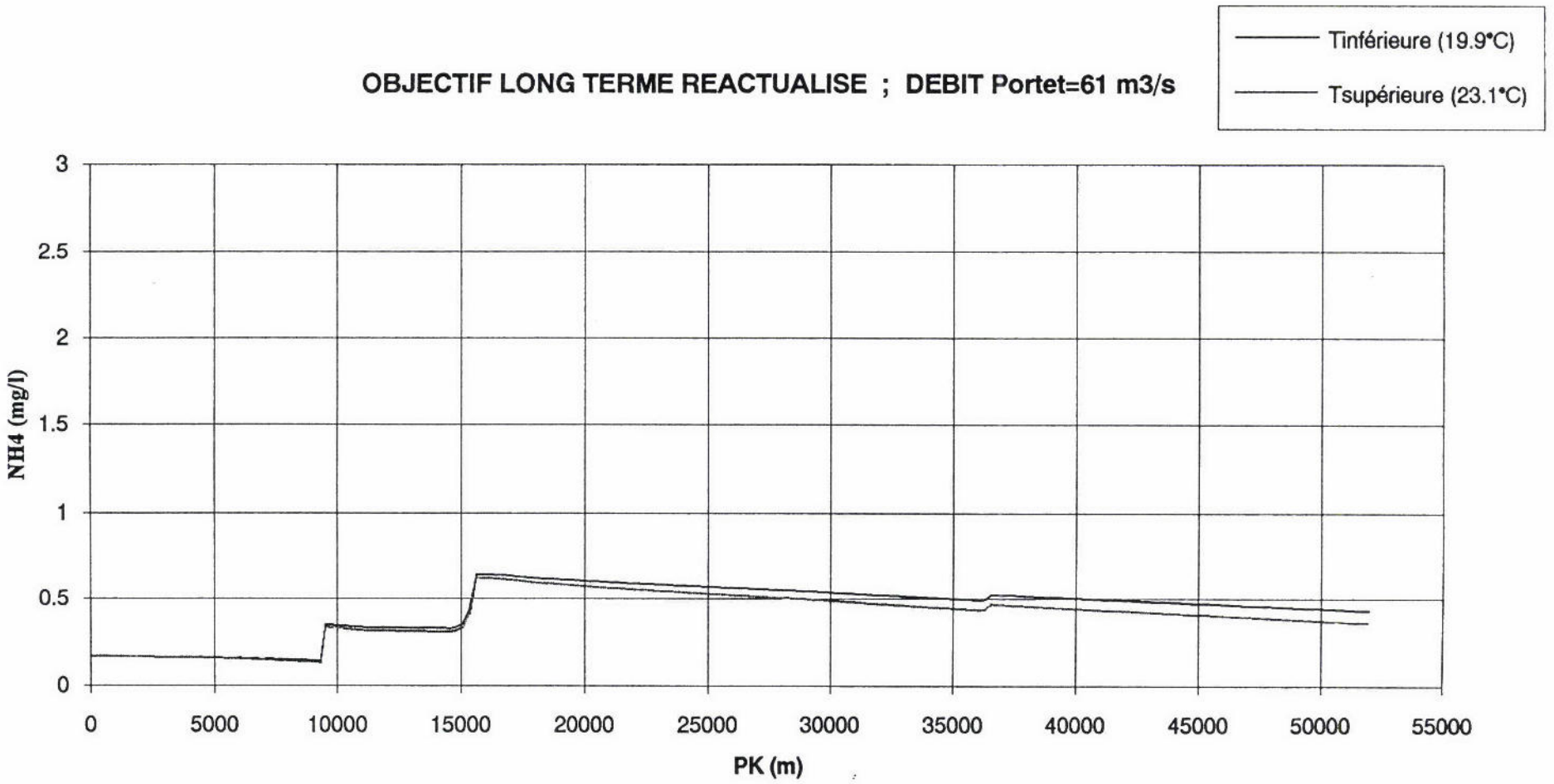
SCGP flux: NK=1 t/j NH4=1.29 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j



SCGP flux: NK=1 t/j NH4=1.29 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j



SCGP flux: NK=1 t/j NH4=1.29 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j



SCGP flux:NK=1 t/j NH4=1.29 t/j GINESTOUS flux: NK=1.2 t/j NH4=1.4 t/j

8. LOI D'EVOLUTION DE NH4

Afin de mettre en évidence la différence de comportement des eaux de la Garonne suivant le lieu que l'on considère, nous avons tracé la loi d'évolution de la concentration en NH4 en fonction du débit en plusieurs lieux remarquables de Lacourtensourt jusqu'à Verdun.
Pour ce faire, nous avons adopté des flux polluants constants correspondant à la situation la plus défavorable c'est à dire celle de 1990-91.
Nous avons simulé pour cette situation tous les débits de 20 à 90 m^3/s par pas de 5 m^3/s avec leur température de l'eau associée.

Le graphe correspondant se trouve à la page suivante.

Au niveau de Lacourtensourt, la loi d'évolution de la concentrartion en ammoniaque est une loi de type dilution.

Au niveau de Verdun, la loi d'évolution de NH4 peut s'assimiler à une courbe en cloche : pour des débits compris entre 20 et 35 m^3/s, on note la croissance de la courbe de NH4 à Verdun malgré l'augmentation du débit.

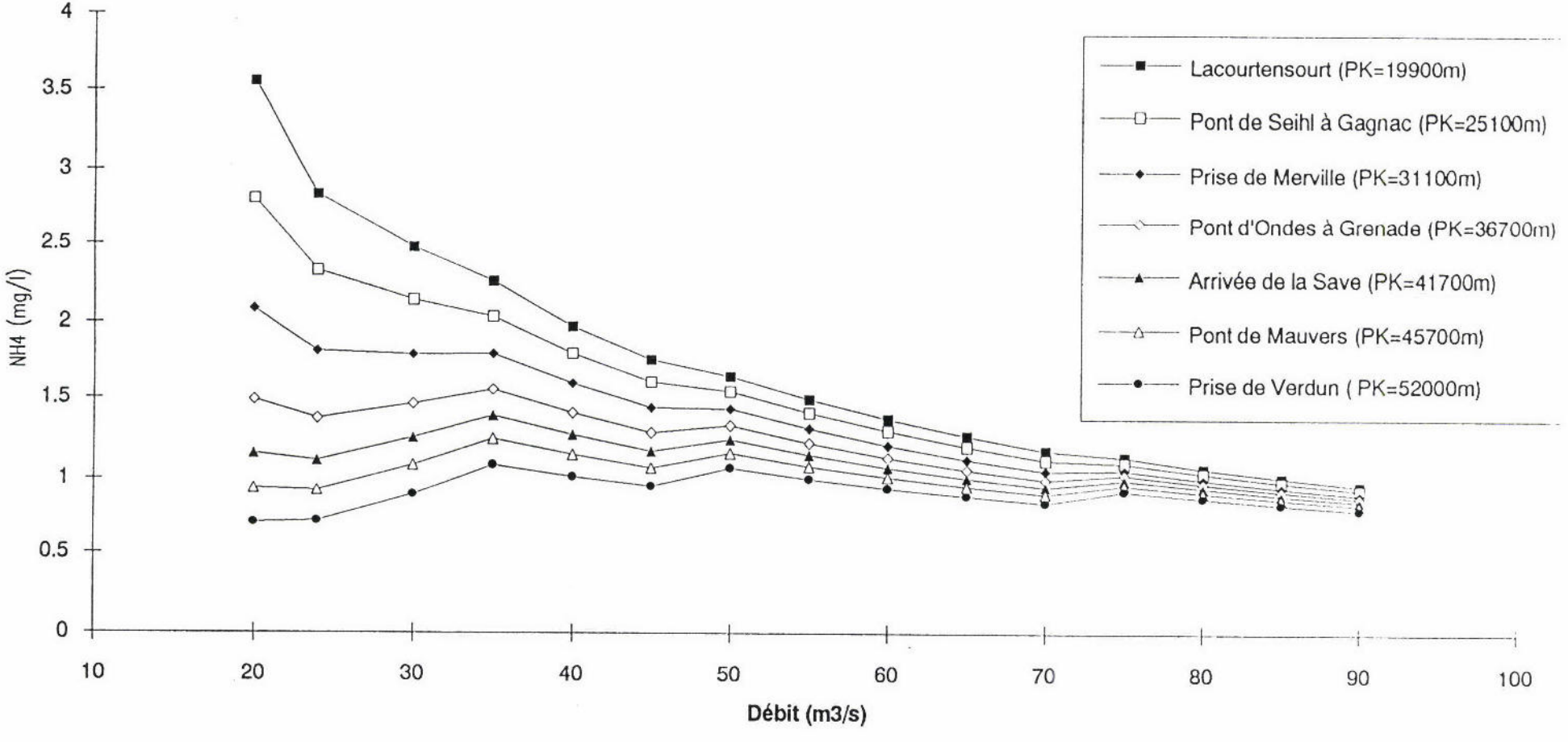
- pour les trés faibles débits (inférieurs à 30 m^3/s) le peu de dilution est compensé par une trés forte nitrification c'est à dire un taux de croissance des bactéries trés élevé.

- en ce qui concerne les débits compris entre 35 et 50 m^3/s , on note un maximum de concentration. Il apparait pour ces débits que l'on se situe dans un état transitoire, où le processus de nitrification n'est plus optimal et le débit insuffisant pour assurer une dilution conséquente.

De Lacourtensourt à Verdun sur Garonne, le type d'évolution de la concentration en ammoniaque varie graduellement.

SITUATION 90-91

EVOLUTION DE [NH4] EN FONCTION DU DEBIT EN DIFFERENTS POINTS DE LA GARONNE



9. CONCLUSION

Initialement, le taux de croissance μv et la teneur en biomasse active Xv étaient considérés comme des paramètres de calage du modèle.
Or au cours de l'étude, nous avons associé au paramètre déterminant μv, la loi d'EDELINE le rattachant à la température (elle même liée au débit de la Garonne).
Nous avons donc par là, supprimé un degré de liberté au modèle. Le paramètre de réglage étant alors figé par la loi choisie, le μv devient une entrée physique du modèle.
De plus lors des simulations, les entrées en débit et en flux polluants sont considérées comme constants, nous ne modélisons pas les fluctuations journalières.

Néanmoins, malgré la fermeture partielle du modèle et le fait de simuler des entrées moyennes, le modèle a pu nous fournir des résultats acceptables au regard des mesures disponibles.

Cette étude a mis en évidence :

- le rôle important du débit d'étiage au droit de Lacourtensourt, la dilution étant le phénomène principal de variation des concentrations en ammoniaque (à rejet constant) à l'aval immédiat de Toulouse.
- le rôle prépondérant de la nitrification sur les teneurs en ammoniaque observées entre Grenade et Verdun sur Garonne, cette nitrification étant elle même favorisée pour les fortes températures de l'eau.

Enfin on notera que la liaison débit–température trop sommairement examinée dans cette étude mériterait d'être précisée pour une meilleure simulation des conditions de nitrification.

Agence de l'Eau
Adour Garonne

Agence de l'Eau Adour-Garonne. Etablissement Public de l'Etat. Article 14 de la Loi sur l'eau du 16 décembre 1964.
Siège : TOULOUSE - 90, rue du Férétra - 31078 Toulouse Cedex - Tél. : 61 36 37 38 - Télécopie : 61 36 37 28
Délégations : BORDEAUX - 11, cours du Chapeau Rouge - 33000 - Tél. : 56 48 01 50 - Télécopie : 56 51 67 03
RODEZ - 8, rue François-Mazenq - 12000 - Tél. : 65 68 49 39 - Télécopie : 65 68 03 21
PAU - 124, boulevard Tourasse - 64000 - Tél. : 59 80 70 33 - Télécopie : 59 80 70 34