Société de Calcul Mathématique, S. A.
Algorithmes et Optimisation

La sécurité des approvisionnements en gaz naturel de la France

Rapport présenté à la

Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières

Observatoire de l'Energie

Ministère de l'Economie et des Finances

par la

Société de Calcul Mathématique SA

en application de votre commande du 18 juillet 2006, no 0600730-00-2-07-075-04

rapport rédigé par Bernard Beauzamy et Olga Zeydina

Siège social et bureaux : 111, Faubourg Saint Honoré, 75008 Paris. Tel. : 01 42 89 10 89. Fax : 01 42 89 10 69
Société Anonyme au capital de 56 200 Euros. RCS : Paris B 399 991 041. SIRET : 399 991 041 00035. APE : 731Z

Remerciements

Il nous est très agréable de remercier toute l'équipe de l'Observatoire de l'Energie, pour nous avoir fourni les données nécessaires à ce travail, pour l'avoir suivi avec attention, mais surtout pour l'intérêt scientifique très particulier lié au sujet traité.

Pour établir une loi de probabilité, sur quelque sujet que ce soit, il faut évidemment que le processus soit stable (stationnaire, comme on dit en mathématiques) ; cela ne veut pas dire que des fluctuations soient interdites, bien au contraire (les probabilités sont là pour rendre compte de ces fluctuations), mais le processus ne doit pas marquer une évolution forte, dans un sens ou dans un autre, sans quoi les données anciennes ne sont pas comparables aux données récentes. Or, pour le gaz, il y a une forte évolution, aussi bien de la consommation que des importations.

Nous avons donc dû élaborer une méthodologie nouvelle, présentée dans les pages qui suivent, et c'est une satisfaction pour un chercheur ; nous remercions l'Observatoire de l'Energie de nous en avoir donné l'occasion.

Résumé opérationnel et recommandations

La présente étude concerne la sécurité des approvisionnements français en gaz naturel ; le niveau et l'évolution de ces approvisionnements doivent évidemment être pris en compte, mais seulement à titre de "variables explicatives" : notre conclusion doit porter sur la sécurité elle-même.

Le mot "sécurité" ouvre la porte à de multiples interprétations ; rien en ce monde n'est jamais sûr à cent pour cent. Mais chaque remède coûte de l'argent, et cet argent est inutilement dépensé si le risque est très faible. Pour nous, une étude de sécurité consiste donc en trois éléments distincts :

- Quelle est la probabilité du risque ?
- Quelles sont les conséquences du risque ?
- Quel est le coût du remède ?

I. L'approche probabiliste en général

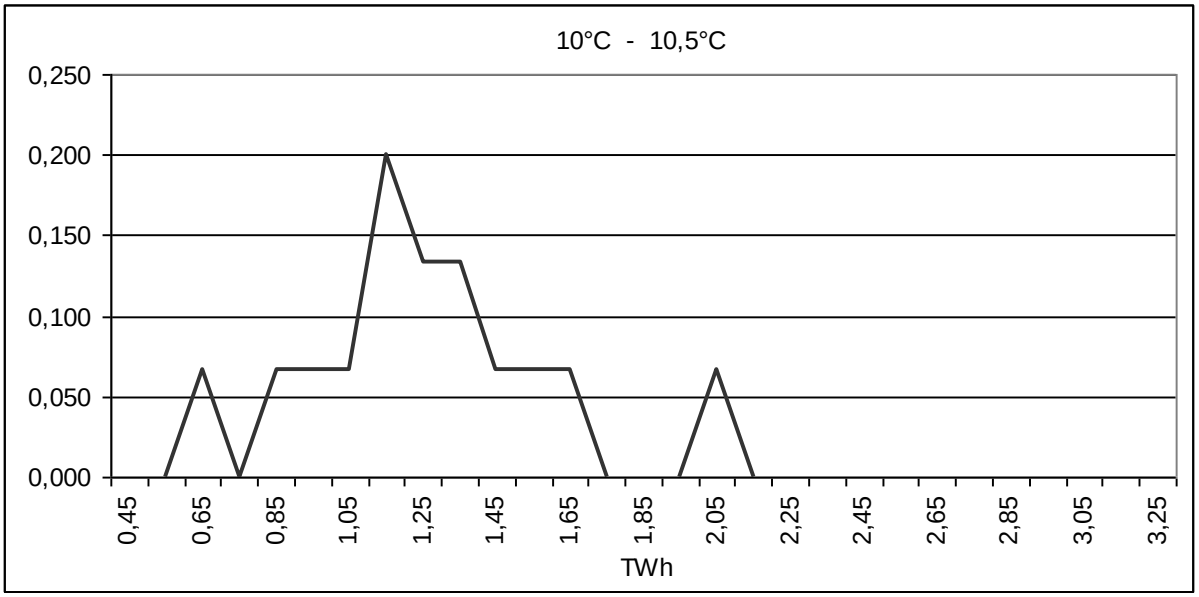
On voit ici apparaître le mot "probabilité", qui est indissociable de toute étude de risque. Expliquons bien le sens de ce mot, souvent mal compris. Nous voulons étudier la possibilité d'apparition d'un "accident" (ce mot est générique ; en l'occurrence une rupture d'approvisionnement). Les circonstances qui conditionnent cet accident sont multiples : livraisons insuffisantes, consommation excessive (par exemple due à un froid durable), sont les principales. Les lois qui relient directement l'accident aux autres variables sont mal connues : par exemple, la consommation n'est pas une fonction simple de la température (voir plus bas).

On pourrait chercher à mieux expliciter cette fonction :

consommation = fonction(température, autres paramètres),

mais cela serait extrêmement coûteux et rien ne dit que l'on y parviendrait, car la situation se modifie tous les ans.

Nous préférons donc avoir recours à des méthodes probabilistes, que nous avons développées à cet effet : elles ne donnent pas un résultat précis, mais une loi de probabilité. Voici un exemple ; il concerne la consommation lorsque la température est dans la fourchette 10°C - 10,5°C. En ordonnées, on lit des probabilités, en abscisses des consommations, en TWh.



Graphe 1 : un exemple de lois de probabilités de consommation, pour température donnée

Il résulte de cette loi que si la température est dans l'intervalle 10°C - 10,5°C, la consommation sera dans l'intervalle [0,9TWh - 1,6TWh] avec probabilité 0,733.

L'interprétation de cette loi doit être faite par référence à une situation de grands nombres. Imaginons que, sur 10 000 ans, la société française soit la même qu'aujourd'hui, en termes de consommations et de climat. Eh bien, sur ces dix mille ans, sur toutes les situations où la température sera entre 10°C et 10,5°C, il y en aura 73% où la consommation sera dans cet intervalle.

L'introduction de méthodes probabilistes comporte deux avantages, qui sont essentiels :

– Elle dispense de détailler l'influence de certains paramètres, que l'on ne parviendrait de toute façon pas à détailler correctement : il s'agit ici d'un avantage économique ;

– Elle permet d'avoir un contrôle sur l'incertitude liée à un résultat.

Dans le cas de la consommation, cette incertitude est rarement prise en compte. Chacun souhaite, semble-t-il, avoir des chiffres exacts, précis : dans telles circonstances (liées à la température, au vent, à l'humidité, au jour de la semaine, de l'année, etc.), la consommation attendue sera de 3 TWh. Mais en pratique, la consommation n'est jamais exactement ce que l'on attend, si fines que soient les anticipations. Il est donc tout à fait souhaitable (et, dans notre opinion, absolument nécessaire) d'avoir au moins un intervalle d'encadrement, du style 2.9 – 3.1.

Une loi de probabilité est une "version raffinée" de cet intervalle d'encadrement : elle ne se contente pas de donner des bornes, mais indique, ce qui est précieux, dans quelle proportion ces bornes peuvent être dépassées : savoir que l'on dépassera 3.05 une fois sur deux n'est pas neutre, et peut servir à dimensionner la ressource et les équipements.

La mise en place de lois probabilistes est donc le bon cadre pour parler de phénomènes qui, comme ici :

- dépendent de nombreux paramètres ;
- ont un comportement incertain, mal prévisible ;
- requièrent in fine des décisions qui sont, elles, totalement déterministes, comme nous le verrons.

II. Notre méthodologie

Il est très difficile, dans le cas présent, de réaliser directement des tables de probabilité de la consommation ou des importations, pour chaque jour de l'année. En effet, les données ne nous ont été communiquées que pour un passé récent (deux ans au maximum). En outre, même si nous disposions de données plus anciennes, elles ne seraient pas exploitables, tant les habitudes ont changé. Nous avons donc dû avoir recours à une méthode entièrement nouvelle en ces circonstances, en introduisant une variable intermédiaire, sur laquelle nous avons de bonnes informations. Cette variable est la température.

Notre méthode se décompose donc en deux étapes :

- Constituer des lois de probabilité de la consommation et des importations en fonction de la température : ceci se fait en exploitant les données des 19 derniers mois (janvier 2005 à juillet 2006) ;
- Constituer des lois de probabilité de température en fonction du jour de l'année. Ceci se fait en exploitant les relevés journaliers de température de Paris sur les 100 dernières années.

En combinant les deux, on obtient les lois de probabilité de consommation et d'importations pour chaque jour de l'année. Nous avons différencié les importations selon 5 provenances : Mer du Nord, Algérie, Russie, Pays-Bas et Autres.

Les stocks sont alors calculés par différence entre le cumul des importations et le cumul des consommations : le stock n'est en rien une variable indépendante. Nous prenons comme origine des temps le 1er avril (date où les stocks sont vides). Notons I_k l'importation au jour no k (en TWh) et C_k la consommation ce même jour. L'importation totale, entre le 1er avril et le jour k est évidemment $I_1+\cdots+I_k$ et la consommation totale, pendant cette même période, est $C_1+\cdots+C_k$. Le stock au jour k est donc la différence (positive ou négative) $(I_1+\cdots+I_k)-(C_1+\cdots+C_k)$. La loi de probabilité de ce stock peut donc être calculée à partir des lois de probabilité des I_k et des C_k ; notons au passage que, les différentes lois étant très complexes, le calcul de la loi de cette différence par blocs n'est nullement une évidence : il ne s'agit pas de gaussiennes !

Pour les obtenir, nous réalisons des scénarios (10 000 au total), obtenus par tirages aléatoires selon les diverses lois de probabilité, pour les consommations et pour les importations.

Mathématiquement, le résultat pour nous est donc un ensemble de lois de probabilité, pour chaque jour de l'année :

- une loi pour la consommation ;
- une loi pour chaque importateur ;
- une loi résultante pour les stocks.

Ceci obtenu, on peut interpréter les résultats.

III. Interprétation des résultats

Il apparaît que la probabilité que les stocks soient vides à la fin du cycle (31 mars) est faible (de l'ordre de 3%) : cela indique que, globalement, les importations sont suffisantes. Par contre, la probabilité d'une insuffisance en cours d'année est très élevée (85 %) ; les jours dangereux sont essentiellement début avril.

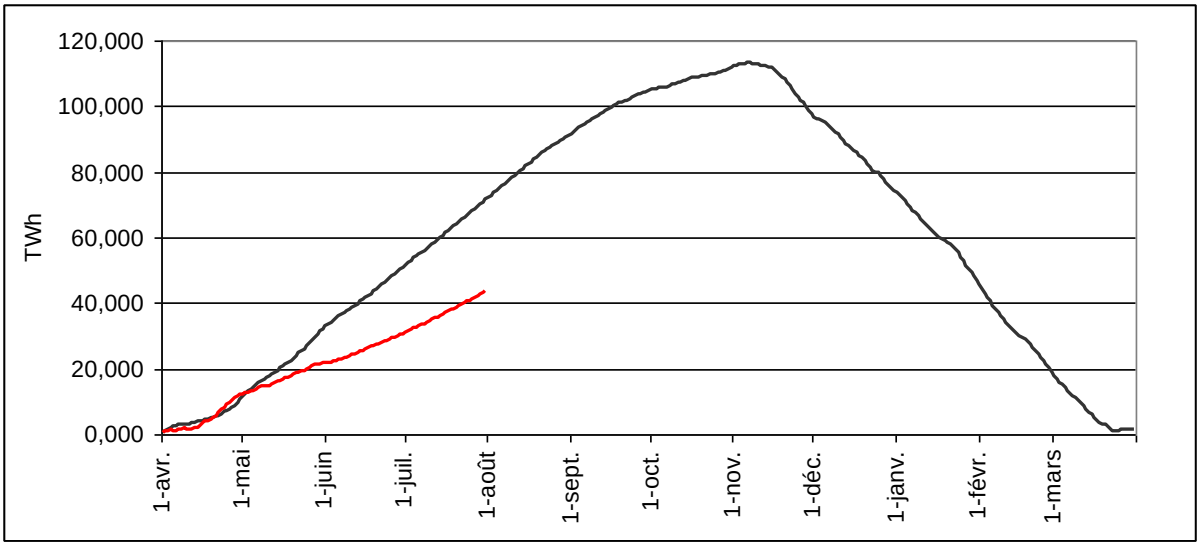
Pour y remédier, nous préconisons un accroissement des stocks : si ceux-ci sont augmentés de 4 TWh (ce qui est très faible !), la probabilité d'insuffisance tombe à 8,6 %.

La formule "Effacement des Jours de Pointe" n'est pas recommandable : les journées critiques sont trop nombreuses.

Parmi les quatre fournisseurs principaux, aucun ne manifeste un manque de fiabilité évident : il n'est utile ni de les remplacer, ni d'en accroître le nombre. Ceci se voit en étudiant la variance liée à chacun d'eux.

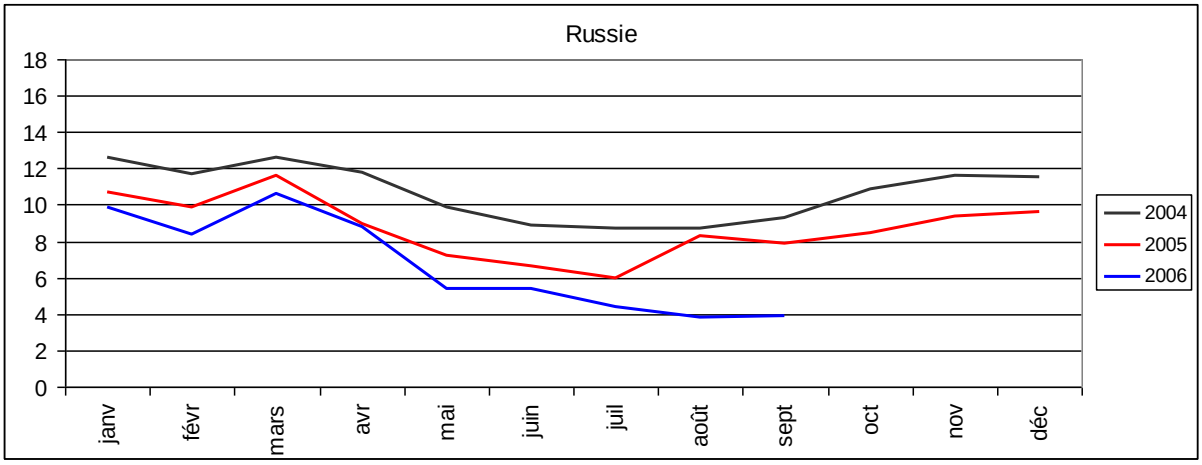
A la question posée, nous apportons donc une réponse simple et claire : accroissement limité des stocks, et rien d'autre.

Nous avons en outre regardé l'évolution des données récentes, sur un ou deux ans, cette fois sans aucune référence à des méthodes probabilistes. L'évolution annuelle des stocks est préoccupante. Dans le graphe ci-dessous, en noir, l'évolution annuelle du stock entre le 1er avril 2005 et le 31 mars 2006 ; en rouge, l'évolution depuis le 1er avril 2006.



Graphe 2 : évolution des stocks sur deux années

La raison de cette évolution est une baisse des importations en provenance de Russie :



Graphe 3 : évolution des importations en provenance de Russie sur trois ans

Ceci ne contredit en rien les affirmations précédentes : la fiabilité de ce fournisseur est bonne, en ce sens qu'il n'y a ni pics négatifs brusques, ni pics positifs brusques ; il y a cependant une tendance générale à la baisse, qui doit être prise en compte.

Dans une seconde partie de l'étude, nous faisons une analyse politique de la situation, en ce qui concerne les importations. Nous nous intéressons particulièrement à deux pays : l'Ukraine et la Russie.

De manière générale, dans les Pays de l'Est, le gaz est la source première d'énergie, ce qu'il n'est pas en France. La dette de l'Ukraine à cet égard est très importante, et la situation est instable. En Russie, le marché intérieur est protégé : le gaz est vendu aux industriels à un coût inférieur au prix de revient, ce qui constitue une forme déguisée de subvention. La Russie est obligée, dans ces conditions, de se rattraper sur ses ventes à l'extérieur, dont les prix ont considérablement augmenté au cours de ces dernières années, et ce n'est certainement pas fini.

L'analyse des données récentes et l'analyse politique nous conduisent donc à cette recommandation : diminuer nos importations en provenance de Russie. Mais il faut évidemment les compenser par d'autres importations, ce qui n'a pas été fait sur les derniers mois.

IV. Organisation du présent travail

Partie I : analyse scientifique

Chapitres 1 à 6 : analyse probabiliste
Chapitre 7 : analyse (déterministe) des données récentes

Partie II : analyse sociale.

Première Partie

Analyse scientifique

Chapitre I

La consommation de gaz en fonction de la température

Contrairement à ce que nous pensions en commençant cette étude, et contrairement à ce que beaucoup de personnes nous avaient dit, la consommation de gaz en France n'est pas une fonction de la seule température, et n'est pas une fonction simple de cette température. Des énoncés brutaux du type : un degré de moins égale 7% de consommation en plus sont plus faux que vrais.

I. Analyse des données disponibles

Nous avons des données de consommation journalière pour les 12 mois de 2005 et les 7 premiers mois de 2006, soit janvier à juillet inclus (fournies par GDF et Total).

Nous disposons également des données de température pour la même période, pour différentes villes : Lille, Brest, Strasbourg, Paris, Bordeaux et Marseille. Nous calculons une moyenne nationale, et nous la comparons aux températures parisiennes. La comparaison, faite sur plusieurs années, montre que la température parisienne est bien représentative de la moyenne nationale ; c'est donc la température parisienne qui nous servira de valeur de référence.

II. Impossibilité d'une approche déterministe

Voici une courbe générale, reliant la température (en abscisse) et la consommation (en ordonnée). On constate qu'il n'y a pas de lien fonctionnel simple. La consommation ne s'exprime pas comme fonction de la température, car les points sont dispersés ; l'écart peut être très grand. Par exemple, pour la température 7,6°C, nous trouvons deux valeurs de consommation : 1,07 TWh et 2,24 TWh.

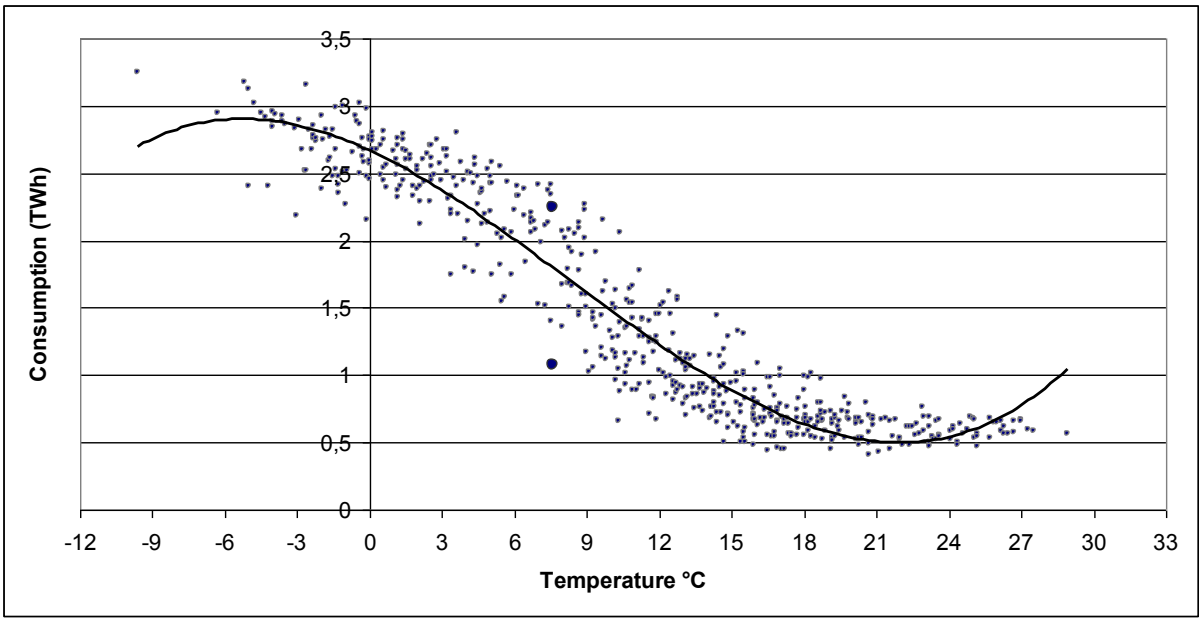


Figure 1 : la consommation globale en fonction de la température

Pour réaliser une analyse plus détaillée, nous travaillons mois par mois et nous essayons, pour chaque mois, de trouver une dépendance entre la consommation de gaz et la température.

Nous écrivons l'équation de la courbe de meilleure approximation (sous forme d'un polynôme) et nous déterminons la "variance relative" autour de cette courbe ; plus cette variance est petite, et meilleure est l'approximation par la courbe.

Voici la courbe obtenue pour le mois de janvier :

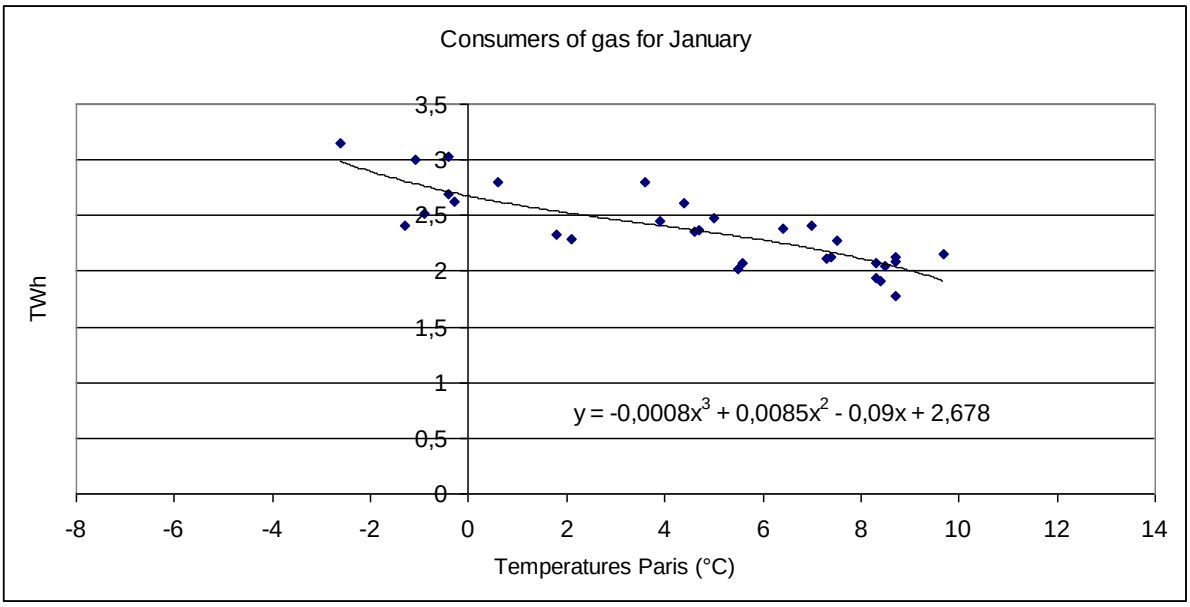


Figure 2 : ajustement consommation/température pour janvier

La variance relative est ici de 16,6 % : la dispersion n'est pas très grande.

Pour réaliser une meilleure représentation, nous avons essayé de diviser la consommation entre deux catégories : les industriels et la population. Pour mettre chaque catégorie en évidence, nous travaillons séparément sur les jours de la semaine et les week-ends.

Les résultats que nous obtenons montrent que cette subdivision se justifie : l'approximation obtenue après séparation est meilleure que si nous considérons toutes les données ensemble : la variance relative devient plus faible.

Voici, pour le mois de janvier, la courbe pour les jours de semaine :

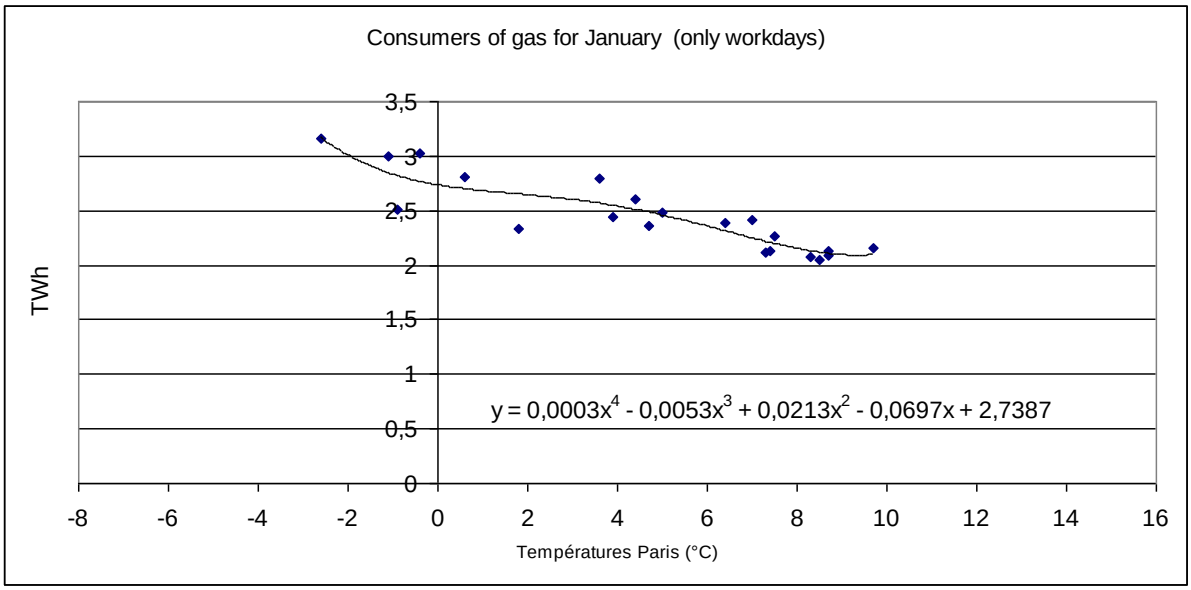


Figure 3 : ajustement conso/température pour les jours de semaine en janvier

La variance relative maximale est 13,7 %.

Et de même, voici la courbe pour les week-ends :

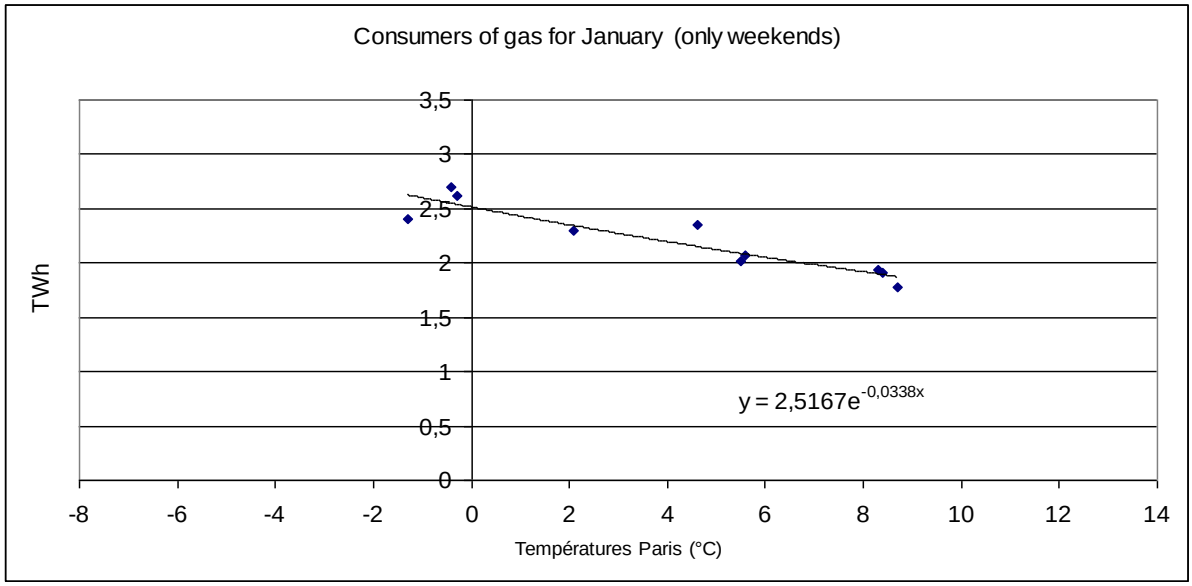


Figure 4 : ajustement conso/température pour les week-ends de janvier

La variance relative maximale est ici de 9,1 %.

En construisant de même les courbes pour tous les mois, nous remarquons que l'été la dépendance entre la température et la consommation est plus mauvaise ; ceci pourrait s'expliquer par le fait que, pendant cette période, les chauffages des particuliers sont arrêtés.

Voici les trois courbes pour juillet : jours de semaine, week-ends, général.

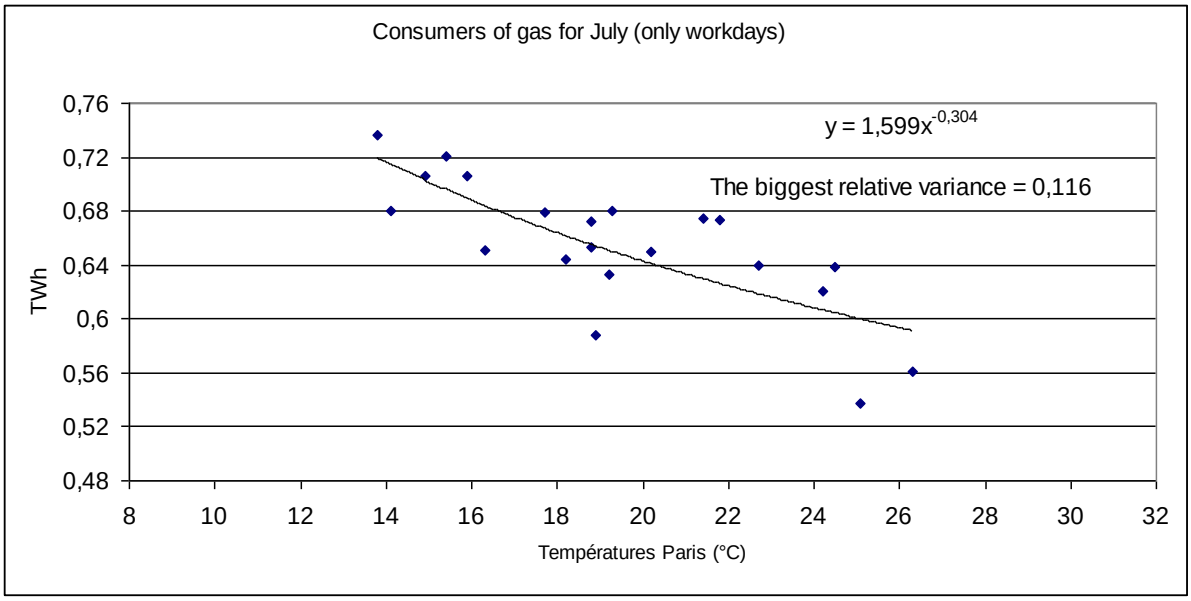


Figure 5 : la consommation en fonction de la température pour juillet, jours de semaine

Variance relative maximale : 11,6 %.

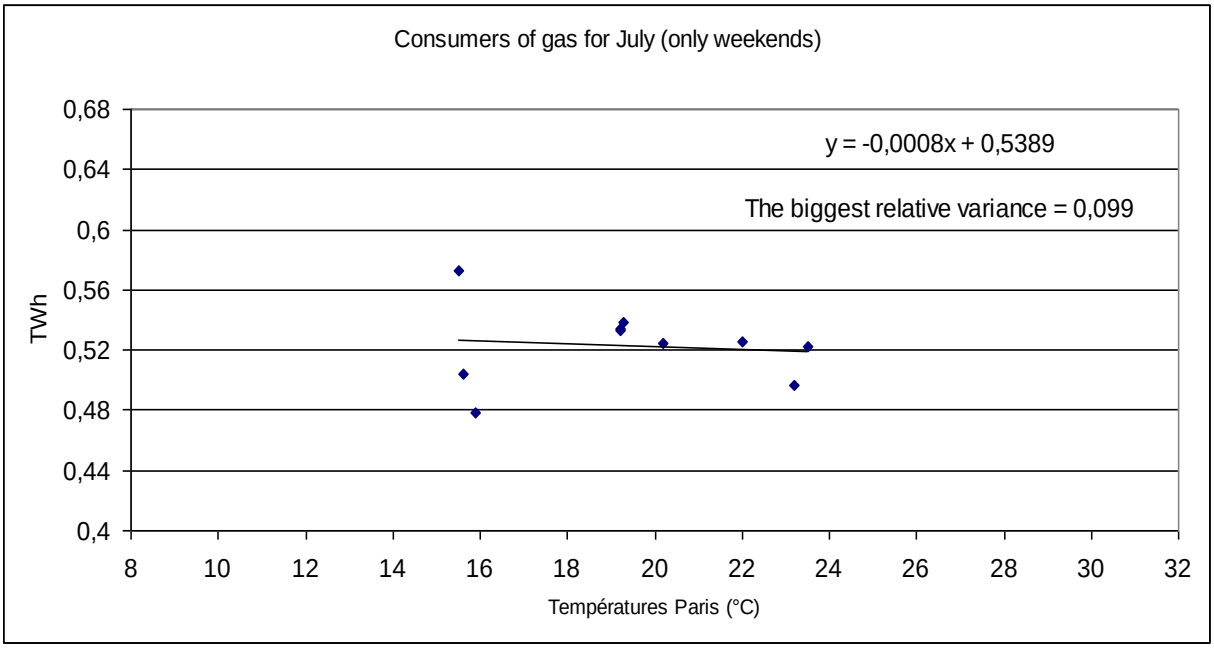


Figure 6 : la consommation en fonction de la température pour juillet, week-ends

Variance relative maximale : 9,9 %.

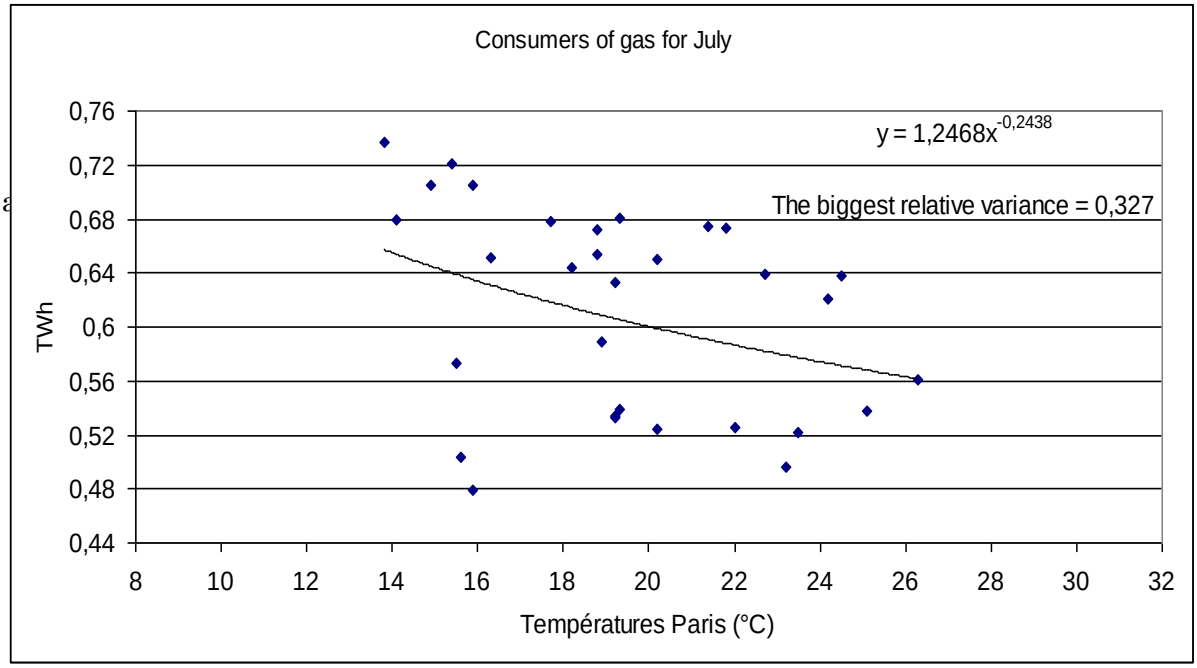


Figure 7 : la consommation en fonction de la température pour juillet

Variance relative maximale : 32,7 %.

On constate ainsi que l'explication "consommation en fonction de la température" est encore plus mauvaise l'été que l'hiver.

III. Méthode probabiliste

Il est donc clair, vu ce qui précède, que nous ne pouvons pas représenter la relation entre la consommation et la température par une simple courbe : il faut utiliser une loi de probabilité. Celle-ci permettra une représentation claire des différentes consommations possibles pour une même température, et permettra en outre de mesurer la dispersion entre ces valeurs.

Il s'agira de tables de "probabilité conditionnelles", car elles sont réalisées pour différentes valeurs de la température. Nous allons expliquer la construction de ces tables en détail. Nous disposons de 577 données : pour chaque jour, pendant les 19 mois, la consommation et la température.

Les températures enregistrées sont comprises dans l'intervalle -11,7°C - 31,6°C. Nous divisons cet intervalle global en petits intervalles de largeur 0,5°C.

Les valeurs possibles pour la consommation, de même, sont comprises entre les valeurs 0,406 TWh et 3,250 TWh. Nous divisons cet intervalle en petits intervalles de taille égale, à savoir 0,1 TWh.

Nous obtenons ainsi 88 intervalles de température :

[-12°C, -12,5°C[, [-12,5°C, -11°C[,…,[31,5°C, 32°C[

et 33 intervalles de consommation :

[0,4 TWh, 0,5 TWh[, … [3,2 TWh, 3,3 TWh[.

Lorsque la température appartient au premier intervalle [-12°C ; -11,5°C[, nous calculons combien de fois la consommation de gaz tombe dans le premier intervalle, [0,4 TWh ; 0,5 TWh[, puis combien de fois elle appartient au second intervalle [0,5 TWh ; 0,6 TWh[et ainsi de suite.

Nous faisons ensuite de même pour le second intervalle de température [-12,5°C, -11°C[, etc. Nous obtenons ainsi une matrice 88 x 33, dont nous représentons le début ci-dessous :

	Consommation journalière totale (TWh)	***…***	***2,7 - 2,8***	***2,8 - 2,9***	***2,9 - 3,0***	***3,0 - 3,1***	***3,1 - 3,2***	***3,2 - 3,3***	***Total number for each interval of temp***
Températures Paris (°C)									
…									
-10°C - -9,5°C								1	1
-9,5°C - -9°C									0
-9°C - -8,5°C									0
-8,5°C - -8°C									0
-8°C - -7,5°C									0
-7,5°C - -7°C									0
-7°C - -6,5°C									0
-6,5°C - -6°C					1				1
-6°C - -5,5°C									0
-5,5°C - -5°C							1		1
-5°C - -4,5°C						1	1		3
-4,5°C - -4°C					2				3
-4°C - -3,5°C				3	3				6
-3,5°C - -3°C				2					2
-3°C - -2,5°C				1			1		6
-2,5°C - -2°C			4	2					7
-2°C - -1,5°C			2	1	1				7
-1,5°C - -1°C				1	2				10
-1°C - -0,5°C					1				4
-0,5°C - 0°C			1	2	1	1			12
0°C - 0,5°C			5						11
0,5°C - 1°C			2	1					8
1°C - 1,5°C			4						13
1,5°C - 2°C									8
2°C - 2,5°C									9
2,5°C - 3°C			3						10
3°C - 3,5°C									10
3,5°C - 4°C				1					6
…									

Table 7 : la matrice consommation / température

Pour chaque intervalle de température, nous comptons le nombre total de valeurs de consommation (c'est la somme par ligne) et nous divisons chaque cellule de la ligne par cette somme. Nous obtenons ainsi une table de probabilités conditionnelles, qui donne la probabilité de la consommation de gaz en fonction de la température.

On trouvera ci-dessous le début de cette table ; les tables complètes sont sur le CD ROM remis en complément.

	Consommation journalière totale (TWh)	…	2,7 - 2,8	2,8 - 2,9	2,9 - 3,0	3,0 - 3,1	3,1 - 3,2	3,2 - 3,3
Températures Paris (°C)								
…								
-10°C - -9,5°C								1
-9,5°C - -9°C								
-9°C - -8,5°C								
-8,5°C - -8°C								
-8°C - -7,5°C								
-7,5°C - -7°C								
-7°C - -6,5°C								
-6,5°C - -6°C					1			
-6°C - -5,5°C								
-5,5°C - -5°C							1	
-5°C - -4,5°C						0,333	0,333	
-4,5°C - -4°C					0,667			
-4°C - -3,5°C				0,500	0,500			
-3,5°C - -3°C				1,000				
-3°C - -2,5°C				0,167			0,167	
-2,5°C - -2°C			0,571	0,286				
-2°C - -1,5°C			0,286	0,143	0,143			
-1,5°C - -1°C				0,100	0,200			
-1°C - -0,5°C					0,250			
-0,5°C - 0°C			0,083	0,167	0,083	0,083		
0°C - 0,5°C			0,455					
0,5°C - 1°C			0,250	0,125				
1°C - 1,5°C			0,308					
1,5°C - 2°C								
2°C - 2,5°C								
2,5°C - 3°C			0,300					
3°C - 3,5°C								
3,5°C - 4°C				0,167				
…								

Table 8 : la probabilité conditionnelle de la consommation en fonction de la température

Le résultat de ce chapitre est que nous disposons maintenant d'un outil, nécessairement probabiliste, reliant la consommation et la température. Cet outil a été fabriqué, comme expliqué plus haut, à partir de 577 jours (19 mois). Disposer d'un historique plus ancien serait plaisant : les tables seraient mieux fournies ; mais ce serait trompeur : les conditions de consommation ont varié (la consommation augmente tous les ans) et les tables ainsi construites seraient fausses.

Nous avons rencontré cette difficulté pour les importations, dont nous allons maintenant parler : nous disposions a priori d'un historique plus long.

Chapitre II

Les importations en fonction de la température

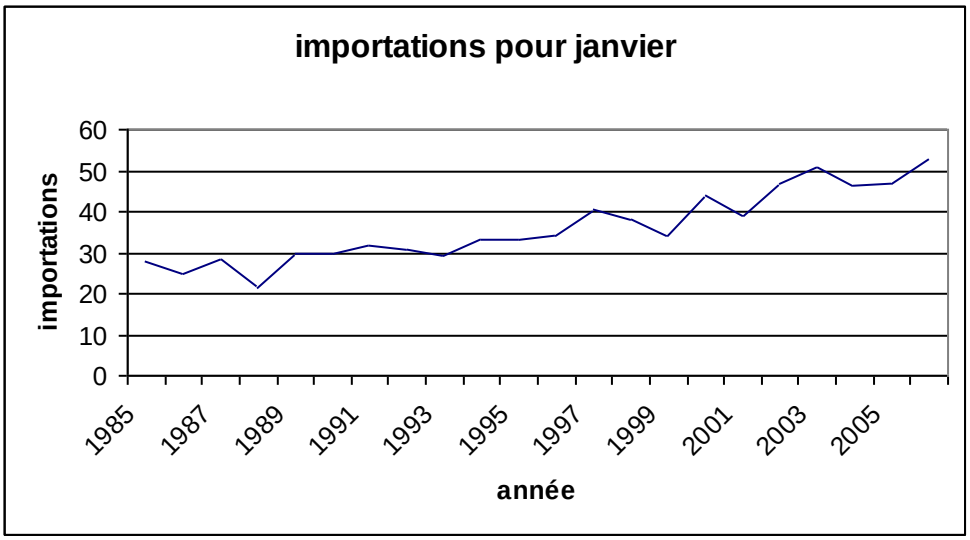
I. Difficultés méthodologiques

A priori, la situation pour les importations paraît plus favorable, du point de vue de la méthodologie : nous disposons en effet de la base de données "Pégase" qui recense toutes les importations depuis 1985.

Dans un premier temps (réunion DGEMP du 25 octobre 2006), nous avons utilisé cette base de données pour construire notre table de probabilité des importations par jour : pour une fois que des données sont disponibles, pourquoi ne pas les utiliser ?

Malheureusement pour cette approche, il apparaît que le phénomène en cause n'est nullement stationnaire : aussi bien la consommation que les importations augmentent régulièrement d'une année sur l'autre.

Voici, à titre d'illustration, les importations pour tous les mois de janvier depuis 1985 :



Graphe 1 : les importations pour janvier, par an depuis 1985

Faire une table de probabilité dans ces conditions serait absurde, comme nous l'avons constaté à la suite de la réunion du 25 octobre : les lois paraissent très dispersées, tout simplement du fait de l'étalement entre données anciennes et données récentes.

Comme nous voulons une loi exploitable pour l'avenir, il faut travailler sur données récentes ; nous faisons donc comme au chapitre précédent : nous passons par l'intermédiaire de la température.

Une seconde difficulté méthodologique – moins sérieuse celle-là – est que les données d'importation sont mensuelles et non journalières. Mais il est légitime de considérer que ces importations varient peu d'un jour à l'autre : il s'agit de pipelines ou de bateaux. Nous avons donc considéré que l'importation journalière était 1/30 ou 1/31 de l'importation mensuelle.

II. Importations en fonction de la température

Nous avons quatre principaux fournisseurs :

- Mer du Nord ;
- Algérie ;
- Russie ;
- Pays-Bas ;
- Autres, tels que les contrats spot.

Nous disposons des données mensuelles d'importation, pour chaque fournisseur. Nous considérons les données sur les mêmes 19 mois que pour la consommation : 2005 et jusqu'en juillet 2006 inclus.

Chaque fournisseur est pris séparément, car ils ont des comportements différents.

Pour obtenir les données journalières, comme expliqué plus haut, nous divisons les données mensuelles par le nombre de jour du mois. Tous les chiffres de consommation sont en TWh.

Pour la Mer du Nord, les données journalières sont dans l'intervalle [0,177; 0,429],

Pour l'Algérie, dans l'intervalle [0,173; 0,326],

Pour la Russie, dans l'intervalle [0,142; 0,374],

Pour les Pays-Bas, dans l'intervalle [0,137; 0,311],

Pour les autres sources, dans l'intervalle [0,040; 0,539].

Tous ces intervalles sont divisés en petits intervalles de taille 0,01 TWh, et nous construisons la table des occurrences et la table des probabilités conditionnelles, pour chaque fournisseur, exactement comme au chapitre précédent pour la consommation.

Pour la température, les données et les intervalles sont les mêmes qu'au chapitre précédent.

Voici une partie des tables de probabilité conditionnelle "importation en fonction de la température" pour chaque fournisseur. Les tables complètes sont sur le CD ROM.

	Mer du Nord (TWh)	…	0,37 - 0,38	0,38 - 0,39	0,39 - 0,4	0,4 - 0,41	0,41 - 0,42	0,42 - 0,43
Températures Paris (°C)								
…								
-5,5°C - -5°C							1,00	
-5°C - -4,5°C			0,33	0,33			0,33	
-4,5°C - -4°C				0,67		0,33		
-4°C - -3,5°C			0,33	0,50	0,17			
-3,5°C - -3°C			0,50	0,50				
-3°C - -2,5°C			0,33	0,33	0,17			0,17
-2,5°C - -2°C			0,57		0,29		0,14	
-2°C - -1,5°C				0,57	0,29	0,14		
-1,5°C - -1°C			0,10	0,10	0,30	0,10	0,20	0,20
-1°C - -0,5°C				0,25		0,25	0,25	0,25
-0,5°C - 0°C			0,17	0,17	0,25		0,17	0,25
0°C - 0,5°C			0,36	0,18	0,09	0,27	0,09	0,00
0,5°C - 1°C			0,25	0,25		0,25	0,13	0,13
1°C - 1,5°C			0,31	0,38	0,23	0,08		
1,5°C - 2°C			0,50	0,38				0,13
2°C - 2,5°C			0,44		0,22	0,11	0,11	0,11
2,5°C - 3°C			0,40	0,30	0,20	0,10		
3°C - 3,5°C			0,10	0,60		0,10	0,20	
…								

Table 2 : la table des probabilités conditionnelles importations / température pour la Mer du Nord

	Algérie (TWh)	…	0,21 - 0,22	0,22 - 0,23	0,23 - 0,24	0,24 - 0,25	0,25 - 0,26	0,26 - 0,27	0,27 - 0,28
Températures Paris (°C)									
…									
-5,5°C - -5°C								1,00	
-5°C - -4,5°C						0,33		0,33	
-4,5°C - -4°C			0,33						0,33
-4°C - -3,5°C						0,33			0,50
-3,5°C - -3°C						0,50			
-3°C - -2,5°C			0,00			0,17	0,17	0,00	0,17
-2,5°C - -2°C						0,43	0,14	0,14	
-2°C - -1,5°C			0,14						0,29
-1,5°C - -1°C			0,10			0,10		0,20	
-1°C - -0,5°C			0,25					0,25	
-0,5°C - 0°C						0,17		0,17	0,08
0°C - 0,5°C			0,27			0,18	0,18	0,09	0,09
0,5°C - 1°C			0,25				0,25	0,13	
1°C - 1,5°C			0,08			0,15	0,15		0,31
1,5°C - 2°C						0,38	0,13		0,13
2°C - 2,5°C			0,11			0,22	0,22	0,11	
2,5°C - 3°C			0,10			0,20	0,20		0,20
3°C - 3,5°C			0,10		0,10	0,10	0,00	0,20	0,30
…									

Table 3 : la table des probabilités conditionnelles importations / température pour l'Algérie

	Russie (TWh)	…	0,3 - 0,31	0,31 - 0,32	0,32 - 0,33	0,33 - 0,34	0,34 - 0,35	0,35 - 0,36	0,36 - 0,37	0,37 - 0,38
Températures Paris (°C)										
…										
-5,5°C - -5°C										1
-5°C - -4,5°C			0,33	0,33						0,33
-4,5°C - -4°C			0,33	0,33				0,33		
-4°C - -3,5°C			0,17	0,33				0,50		
-3,5°C - -3°C			0,50	0,50						
-3°C - -2,5°C			0,33	0,17			0,33	0,17		
-2,5°C - -2°C			0,29	0,43			0,14			0,14
-2°C - -1,5°C			0,57	0,14				0,29		
-1,5°C - -1°C			0,40	0,20			0,20			0,20
-1°C - -0,5°C			0,25	0,25			0,25			0,25
-0,5°C - 0°C			0,33	0,17			0,25	0,08		0,17
0°C - 0,5°C			0,18	0,45			0,18	0,09		0,09
0,5°C - 1°C			0,25	0,25			0,38			0,13
1°C - 1,5°C			0,31	0,23			0,15	0,31		
1,5°C - 2°C			0,25	0,38			0,25	0,13		
2°C - 2,5°C			0,22	0,33			0,33			0,11
2,5°C - 3°C			0,30	0,30			0,20	0,20		
3°C - 3,5°C			0,20	0,20				0,30		0,20
…										

Table 4 : la table des probabilités conditionnelles importations / température pour la Russie

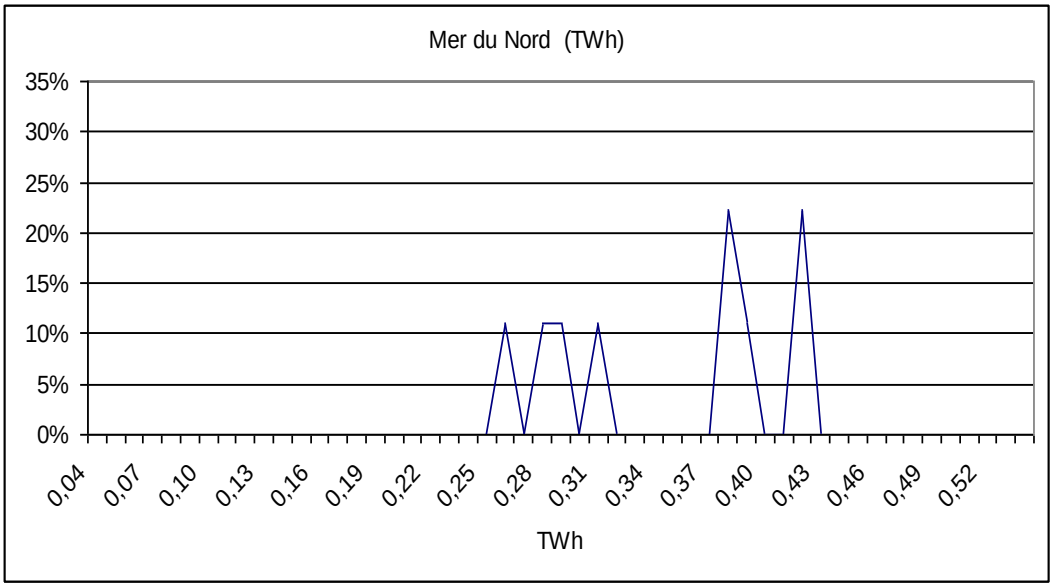
	Pays-Bas (TWh)	…	0,26 - 0,27	0,27 - 0,28	0,28 - 0,29	0,29 - 0,3	0,3 - 0,31	0,31 - 0,32
Températures Paris (°C)								
…								
-5,5°C - -5°C					1			
-5°C - -4,5°C					0,33		0,33	0,33
-4,5°C - -4°C					0,67			0,33
-4°C - -3,5°C					0,50		0,50	0,00
-3,5°C - -3°C							0,50	0,50
-3°C - -2,5°C				0,17	0,17		0,50	0,17
-2,5°C - -2°C					0,14		0,86	
-2°C - -1,5°C					0,43		0,29	0,29
-1,5°C - -1°C				0,20	0,30		0,40	0,10
-1°C - -0,5°C				0,25	0,50			0,25
-0,5°C - 0°C				0,25	0,25		0,42	0,08
0°C - 0,5°C					0,45		0,45	0,09
0,5°C - 1°C				0,13	0,38		0,25	0,25
1°C - 1,5°C					0,38		0,54	0,08
1,5°C - 2°C				0,13	0,13		0,50	0,25
2°C - 2,5°C				0,11	0,22		0,67	
2,5°C - 3°C					0,30		0,60	0,10
3°C - 3,5°C					0,70		0,10	0,20
…								

Table 5 : la table des probabilités conditionnelles importations / température pour les Pays Bas

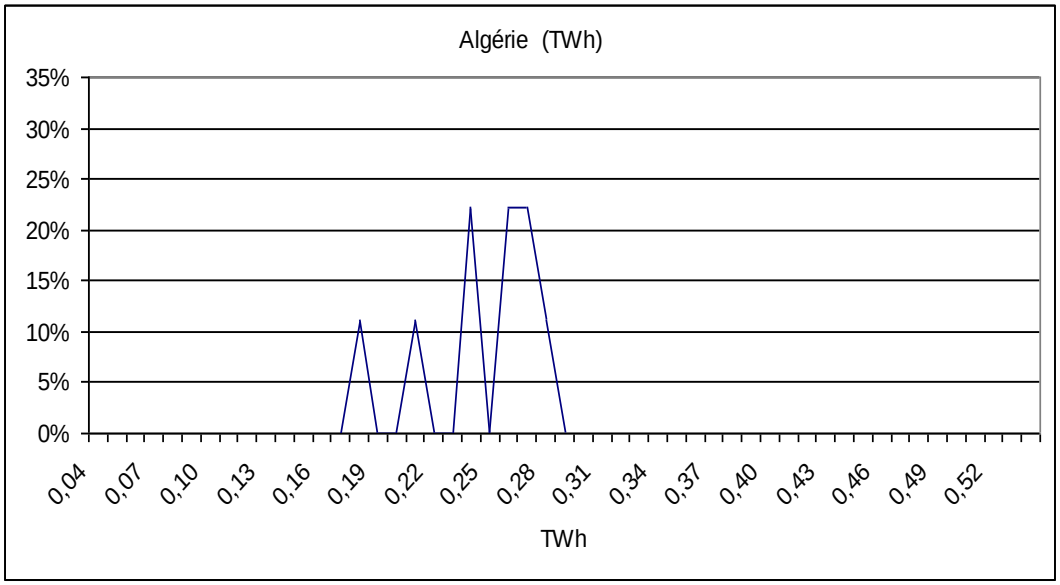
	autres (TWh)	…	0,37 - 0,38	0,38 - 0,39	0,39 - 0,4	0,4 - 0,41	0,41 - 0,42	0,42 - 0,43	0,43 - 0,44	…
Températures Paris (°C)										
…										
-5,5°C - -5°C							1			
-5°C - -4,5°C			0,33				0,33			
-4,5°C - -4°C			0,33	0,33						
-4°C - -3,5°C										
-3,5°C - -3°C			0,50							
-3°C - -2,5°C			0,17							
-2,5°C - -2°C							0,14			
-2°C - -1,5°C			0,29	0,14						
-1,5°C - -1°C			0,10	0,10			0,20			
-1°C - -0,5°C			0,25	0,25			0,25			
-0,5°C - 0°C			0,08				0,17			
0°C - 0,5°C			0,09	0,27			0,09			
0,5°C - 1°C			0,25	0,25			0,13			
1°C - 1,5°C			0,08	0,08						
1,5°C - 2°C			0,25							
2°C - 2,5°C				0,11			0,11			
2,5°C - 3°C			0,10	0,10						
3°C - 3,5°C			0,20	0,10			0,20			
…										

Table 6 : la table des probabilités conditionnelles importations / température pour le reste des fournisseurs

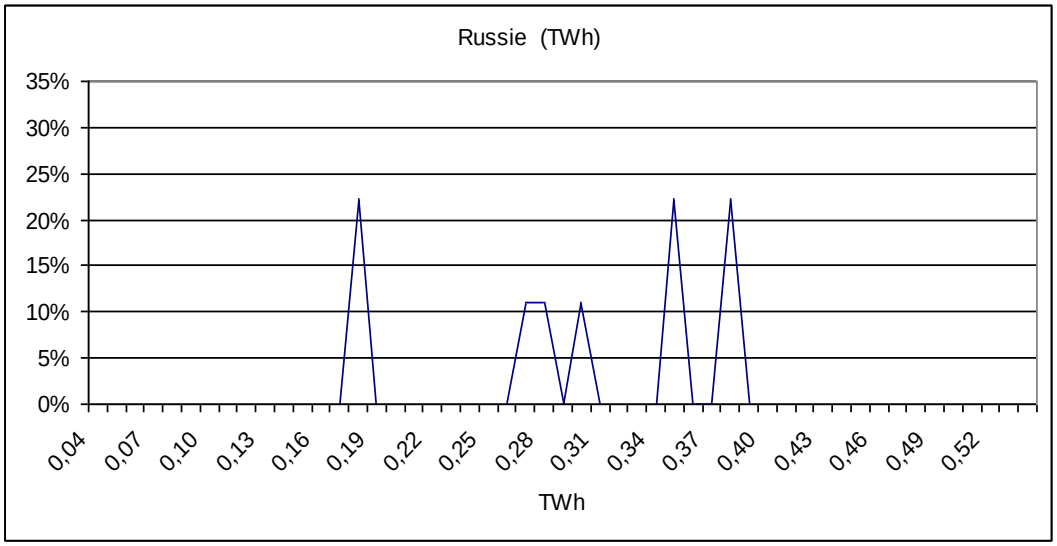
Voici un exemple de loi de probabilité, pour chacun des fournisseurs, pour l'intervalle de température 12°C – 12,5°C :



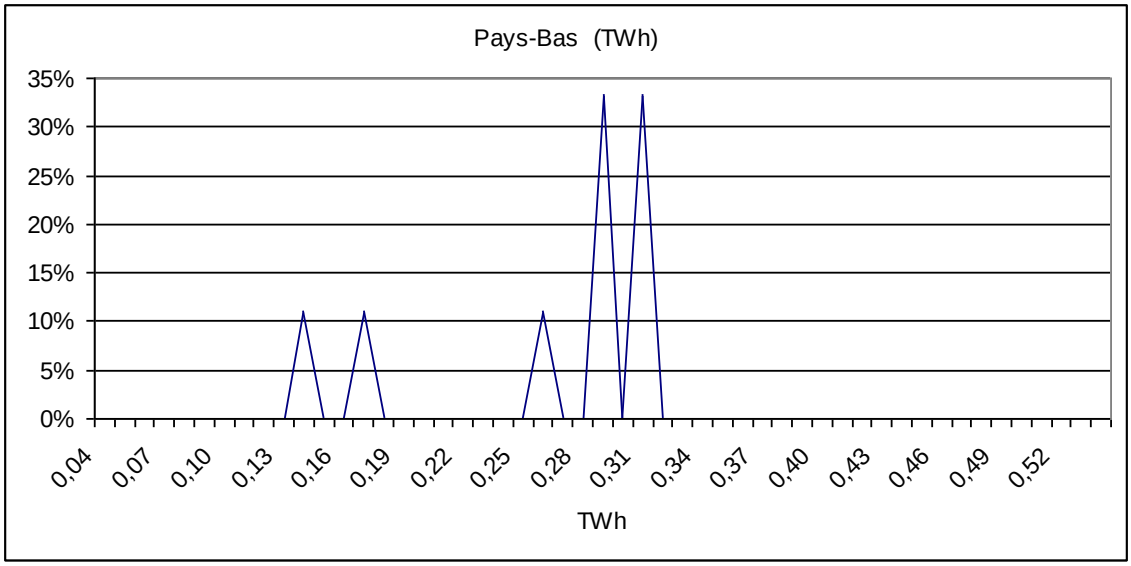
Graphe 7 : la loi de probabilité des importations, pour la Mer du Nord, lorsque la température est 12°C



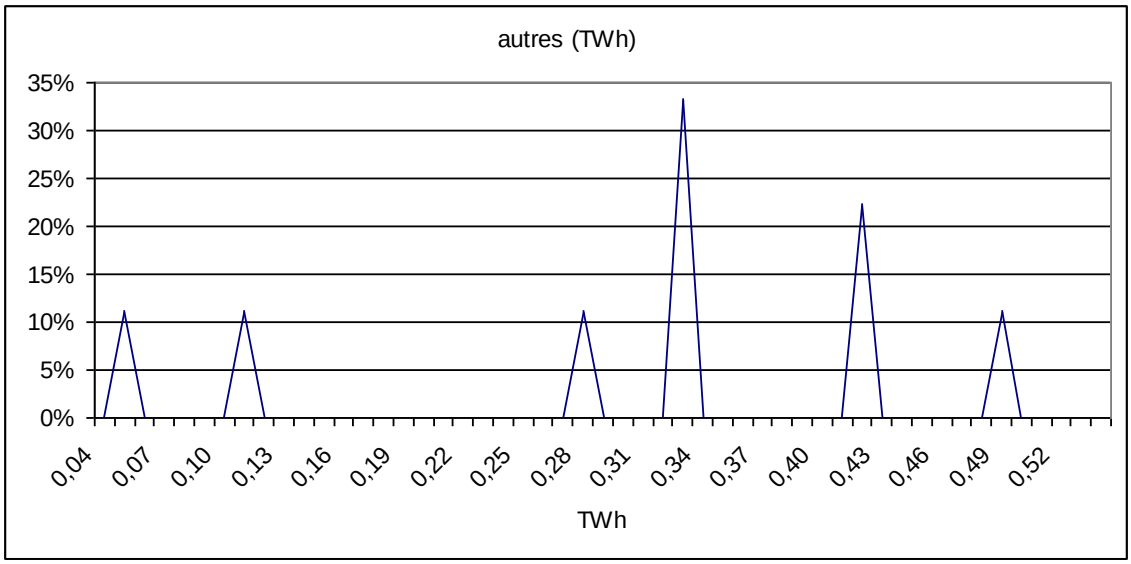
Graphe 8 : la loi de probabilité des importations, pour l'Algérie, lorsque la température est 12°C



Graphe 9 : la loi de probabilité des importations, pour la Russie, lorsque la température est 12°C



Graphe 10 : la loi de probabilité des importations, pour les Pays Bas, lorsque la température est 12°C



Graphe 11 : la loi de probabilité des importations, pour les autres fournisseurs, lorsque la température est 12°C

A ce stade, nous avons donc construit les tables de probabilité des importations, selon les différents fournisseurs, en fonction de la température.

Remarque : nous avons dû utiliser des températures provenant de deux sources différentes. La première provient de la base "SoDA" : Services pour Professionnels en Energie Solaire et Rayonnement (*http://www.soda-is.org*) ; les températures sont précises mais la série n'est pas très longue. La seconde est la base de l'ECA (European Climate Assessment, voir chapitre suivant), qui est beaucoup plus longue, mais est déficiente pour l'année 2005 !

Chapitre III

La température selon le jour de l'année

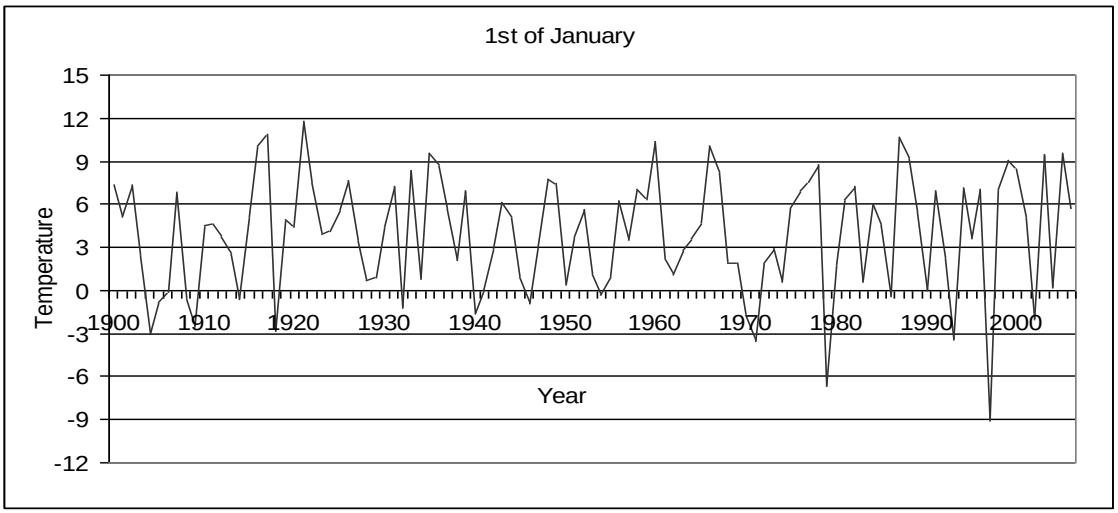
I. Présentation générale

La température joue pour nous le rôle d'une variable principale cachée. Comme nous l'avons dit, nous ne pouvons utiliser ni les données anciennes de consommation, ni les données anciennes d'importations : les choses ont trop changé. Par contre, nous pouvons utiliser les données anciennes de température pour constituer une loi de probabilité de température pour chaque jour de l'année.

Il ne nous suffit évidemment pas de travailler sur seulement 19 mois de température : les années 2005- 2006 peuvent être plus froides ou plus chaudes que la moyenne ; de toute façon, 19 mois sont une durée insuffisante pour se faire une idée de la variabilité des températures. Nous utilisons donc les données de température, pour Paris, disponibles à l'adresse suivante :

Klein Tank, A.M.G. and Coauthors, 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. Int. J. of Climatol., 22, 1441-1453.
Data and metadata available at http://eca.knmi.nl

Nous prenons les données depuis le 1er janvier 1900 jusqu'en 2005. Nous les groupons par jour. Voici, par exemple, le graphe des températures le 1er janvier, sur cette période (les tables complètes sont sur le CD ROM).



Graphe 1 : évolution des températures du 1er janvier, depuis 1900 à nos jours

Nous constituons ainsi, pour chaque jour de l'année, une table de relevés de températures. Voici le début de cette table :

	January					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1900	7,3	10	7,7	7,2	4,1	2
1901	5,1	5,1	4	-1,1	-3,8	-8,3
1902	7,3	11	10,9	9,1	6,7	5
1903	2,4	8,4	10,8	10	9,9	6,6
1904	-3	-0,9	2,7	4,3	2,2	-0,5
1905	-0,8	-7,2	-5,5	2,7	5,5	7,6
1906	-0,1	2,8	6,3	9,7	11,4	9,6
1907	6,8	6,5	4,8	2,9	2,4	7,1
1908	-0,6	-4,4	-7,2	-5,1	-4,6	-6
1909	-2,5	1,5	2,6	0,4	-3	-2,8
1910	4,5	5,9	5,1	6	4,6	2,8
1911	4,6	1,3	1	0,7	1,4	1,1

Table 3 : le début de la table des températures, par jour, de 1900 à 2006

On peut immédiatement convertir cette table en table de probabilités conditionnelles de température, par jour de l'année. Voici cette table, pour le 1er janvier :

centre intervalle	-9,75	-9,25	-8,75	-8,25	-7,75	-7,25	-6,75	-6,25	-5,75	-5,25	-4,75
proba	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000

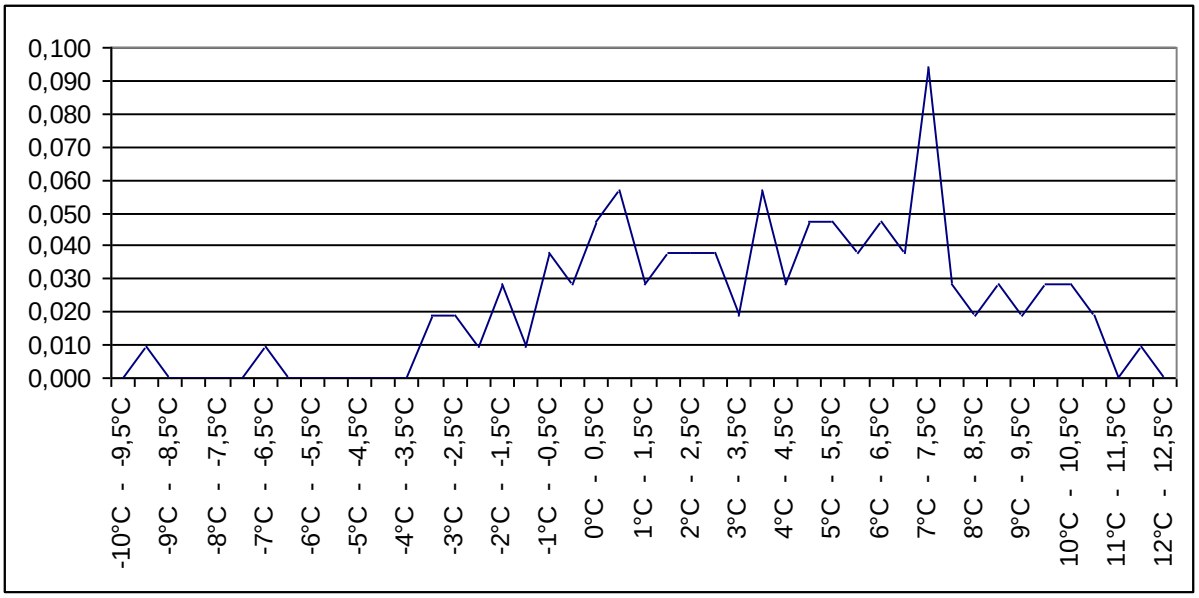
centre intervalle	-4,25	-3,75	-3,25	-2,75	-2,25	-1,75	-1,25	-0,75	-0,25	0,25	0,75
proba	0,000	0,000	0,019	0,019	0,009	0,028	0,009	0,038	0,028	0,047	0,057

centre intervalle	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25	5,75	6,25
proba	0,028	0,038	0,038	0,038	0,019	0,057	0,028	0,047	0,047	0,038	0,047

centre intervalle	6,75	7,25	7,75	8,25	8,75	9,25	9,75	10,25	10,75	11,25	11,75
proba	0,038	0,094	0,028	0,019	0,028	0,019	0,028	0,028	0,019	0,000	0,009

Table 4 : probabilités de température pour le 1er janvier

et voici la représentation graphique de la densité de probabilité associée :



Graphe 5 : densité de probabilité de température pour le 1er janvier

Nous allons maintenant en déduire les lois de probabilité pour les importations et la consommation, pour chaque jour.

Chapitre IV

La consommation et les importations par jour

I. Construction des lois journalières

A ce stade, nous avons donc, pour la consommation comme pour les importations, une table de probabilité en fonction de la température. Nous disposons par ailleurs, pour chaque jour de l'année, d'une liste de 106 valeurs de températures (sur une période de 106 ans).

Nous en déduisons une table de probabilité de consommation par jour. En effet, par jour, nous avons une loi de probabilité de température, et pour chaque température une loi de probabilité de consommation : il suffit de regrouper les deux.

En pratique, nous avons 106 valeurs de température par jour ; nous trouvons pour chacune l'intervalle (de température) auquel elle appartient.

Pour chaque température (centre d'intervalle), nous avons une loi de probabilité de consommation : nous savons quelle est la probabilité d'être, par exemple, entre 0,30 et 0,31 TWh. Ces bornes (de consommation) sont les mêmes pour tous les intervalles.

La loi de consommation, pour une journée donnée, s'obtient donc en faisant la somme des lois de probabilité pour chaque température observée (de 1900 à 2006) et en divisant par 106.

Voici le début de la table générale, pour le 1er janvier. En première colonne, on a le numéro de l'année, puis en seconde colonne la température réelle au 1er janvier cette année-là. En troisième colonne on trouve l'intervalle de température associé (les intervalles sont de largeur 0,5°C). Ensuite, ce sont des intervalles de consommation, caractérisés par leur point milieu (en TWh). Dans chaque case, se trouve la probabilité de cette consommation-là pour cette température-là ; la somme par ligne fait donc 1.

La table comporte 106 lignes, et la loi de probabilité de la consommation pour le 1er janvier est obtenue en faisant la somme par colonnes et en divisant chaque somme par 106.

Notons une difficulté technique : il se peut (c'est le cas pour le 1er janvier) que nous rencontrions une température qui n'a jamais été relevée pendant les 19 mois où la consommation est associée à la température. En ce cas, la ligne correspondante est vide : on ne sait pas associer de consommation à cette température-là. La loi de probabilité globale s'obtient de la même manière, mais en divisant par 105 et non par 106. Le résultat n'est pas affecté : la température en question n'a, par définition, qu'une chance sur 106 de se produire.

année	température	intervalle	…	1,55	1,65	1,75	1,85	1,95	2,05	2,15	2,25	2,35	2,45	2,55	2,65	2,75	2,85	2,95
1900	7,3	**7°C - 7,5°C**		0,286				0,143		0,286		0,143	0,143					
1901	5,1	**5°C - 5,5°C**				0,111	0,111		0,111		0,111		0,333	0,222				
1902	7,3	**7°C - 7,5°C**		0,286				0,143		0,286		0,143	0,143					
1903	2,4	**2°C - 2,5°C**								0,111	0,111	0,111	0,222	0,222	0,222			
1904	-3	**-3°C - -2,5°C**								0,167				0,333	0,167		0,167	
1905	-0,8	**-1°C - -0,5°C**									0,250			0,250	0,250			0,250
1906	-0,1	**-0,5°C - 0°C**								0,083			0,167	0,083	0,250	0,083	0,167	0,083
1907	6,8	**6,5°C - 7°C**					0,143		0,286	0,429	0,143							
1908	-0,6	**-1°C - -0,5°C**									0,250			0,250	0,250			0,250
1909	-2,5	**-2,5°C - -2°C**													0,143	0,571	0,286	
1910	4,5	**4,5°C - 5°C**						0,100		0,300	0,100	0,300	0,100	0,100				
1911	4,6	**4,5°C - 5°C**						0,100		0,300	0,100	0,300	0,100	0,100				
1912	3,7	**3,5°C - 4°C**								0,167			0,500	0,167			0,167	
1913	2,5	**2,5°C - 3°C**									0,100		0,300	0,200	0,100	0,300		
1914	-0,6	**-1°C - -0,5°C**									0,250			0,250	0,250			0,250
1915	5,1	**5°C - 5,5°C**				0,111	0,111		0,111		0,111		0,333	0,222				
1916	10,1	**10°C - 10,5°C**		0,067	0,067				0,067									
1917	10,9	**10,5°C - 11°C**		0,200	0,133													
1918	-2,8	**-3°C - -2,5°C**								0,167				0,333	0,167		0,167	
1919	4,9	**4,5°C - 5°C**						0,100		0,300	0,100	0,300	0,100	0,100				

Table 1 : probabilités de consommation pour le 1er janvier

Voici l'aspect de la densité de probabilité de consommation pour le 1er janvier :

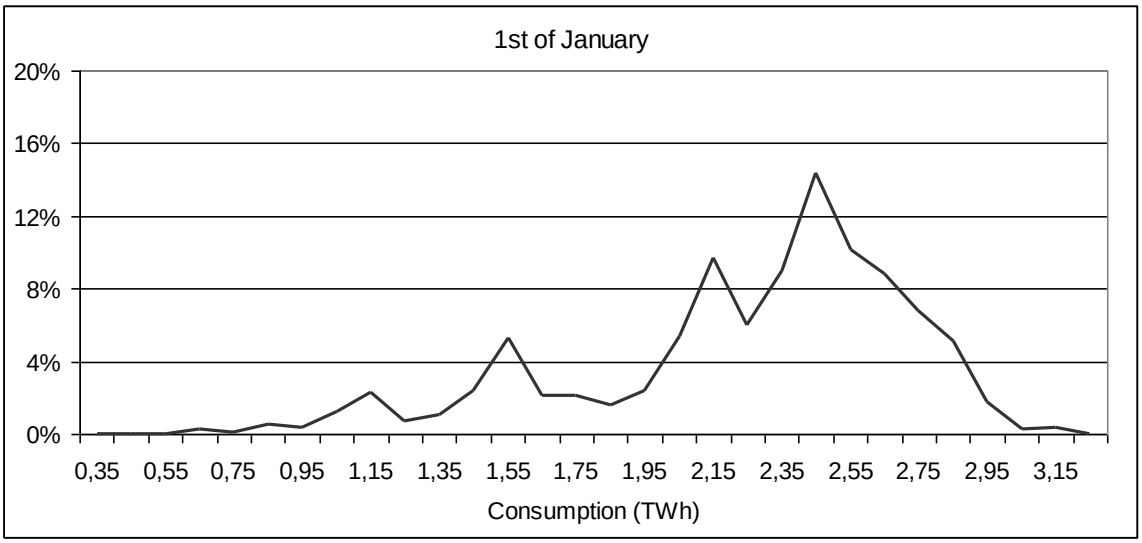


Table 2 : la densité de probabilité de consommation pour le 1er janvier

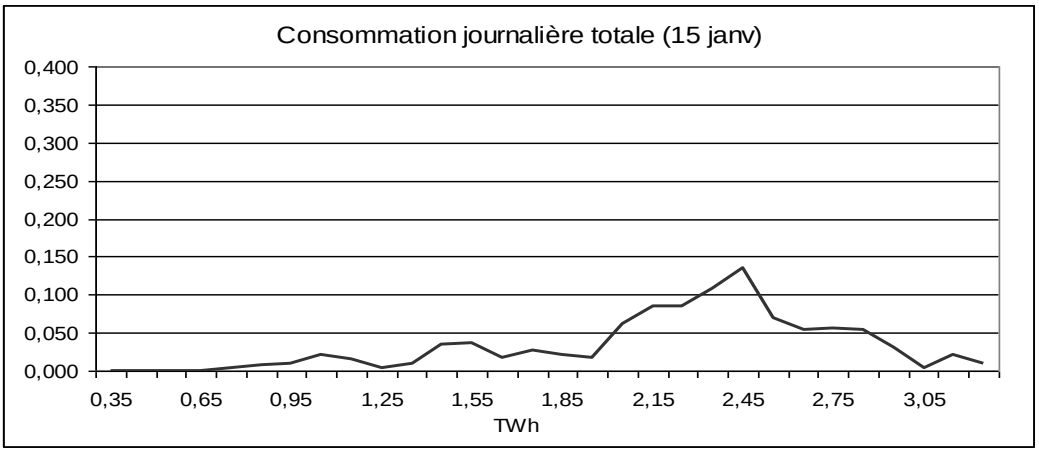
Cette loi de probabilité a été établie à partir de la température, mais celle-ci a disparu du résultat final ; cependant, cette manière de procéder permet d'utiliser des "séries longues", à savoir celles de la température. Nous répétons le même travail pour tous les jours de l'année et pour les importations.

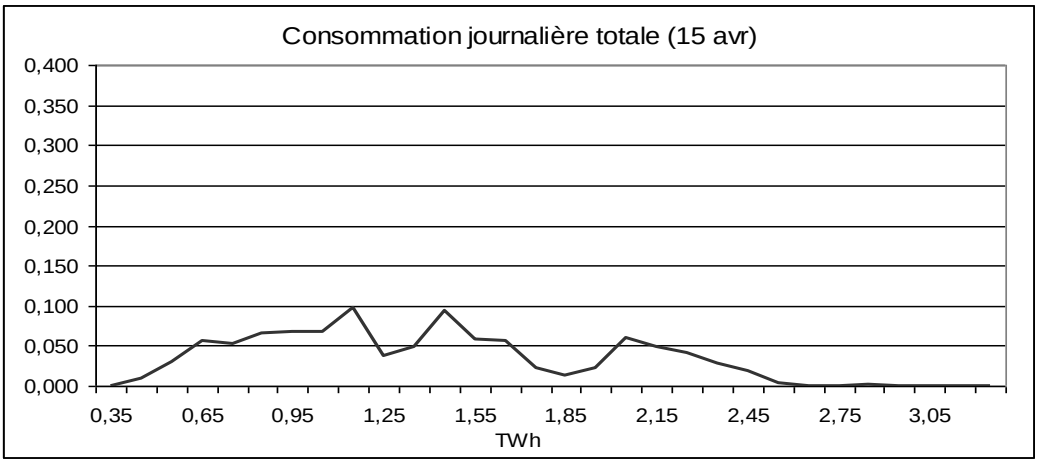
II. Résultats

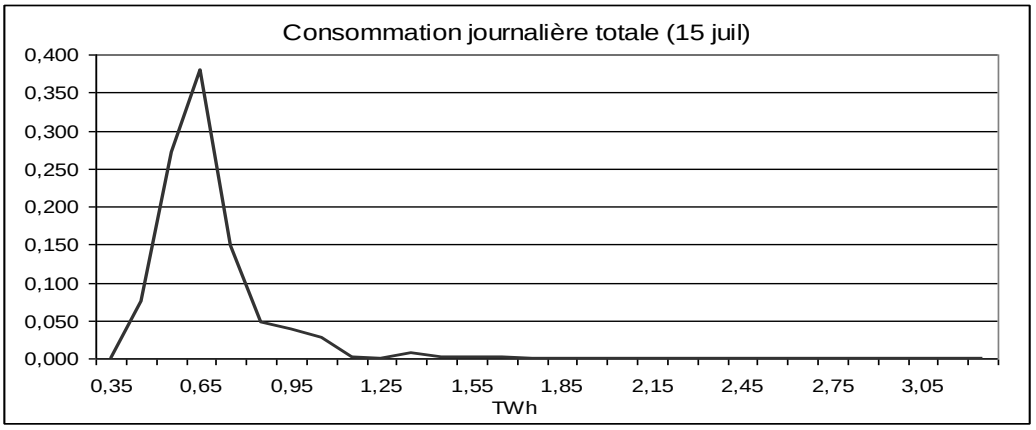
Dans les tables qui suivent, nous donnons :

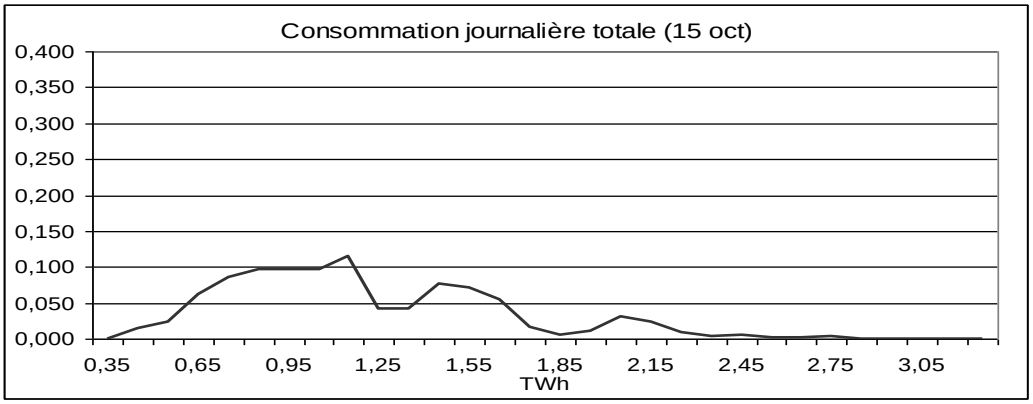
- Les densités de probabilité de consommation, au 15 janvier, 15 avril, 15 juillet, 15 octobre ;

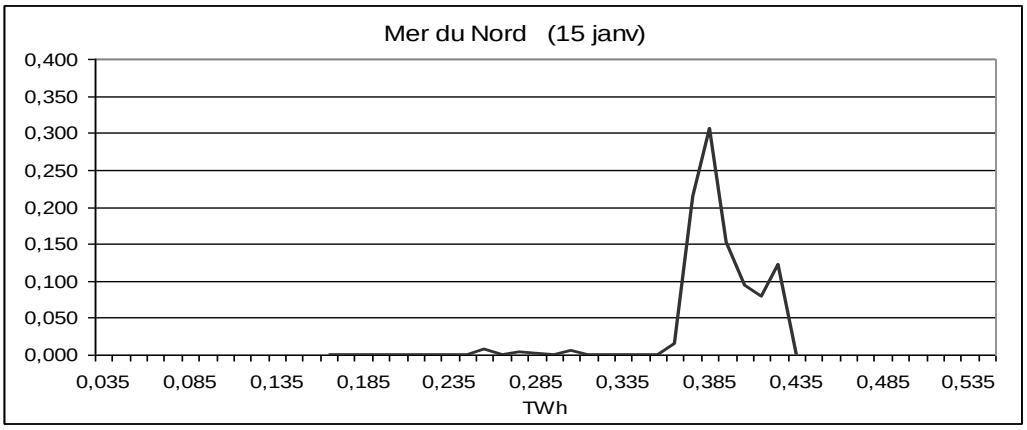
- Les densités de probabilité d'importation, aux mêmes dates, pour chacun des 4 principaux importateurs plus "autres".

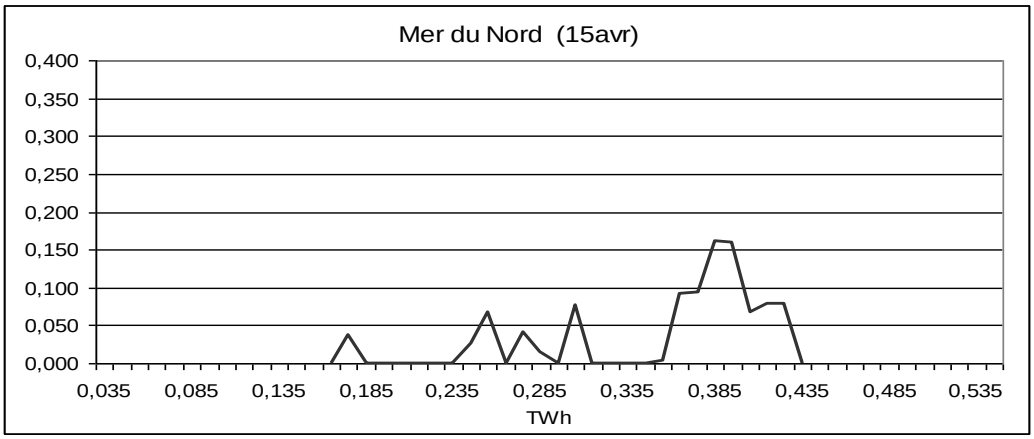

Consommation journalière totale (15 janv)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,35
0,65
0,95
1,25
1,55
1,85
2,15
2,45
2,75
3,05
TWh

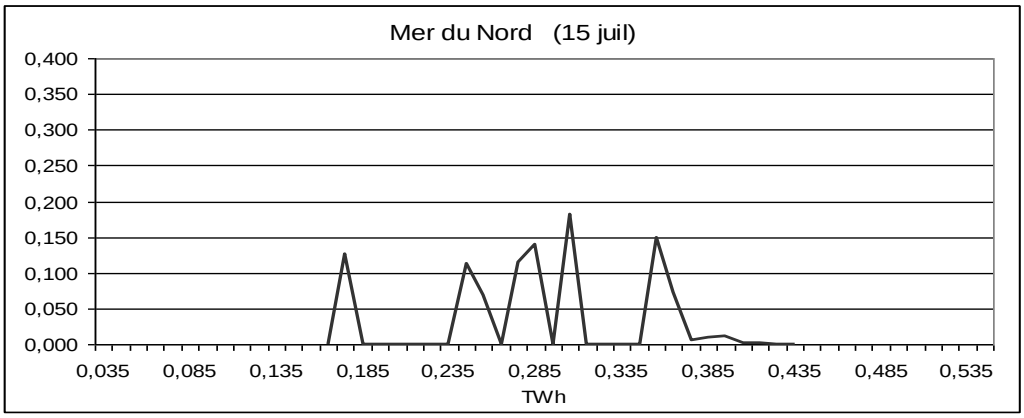

Consommation journalière totale (15 avr)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,35
0,65
0,95
1,25
1,55
1,85
2,15
2,45
2,75
3,05
TWh

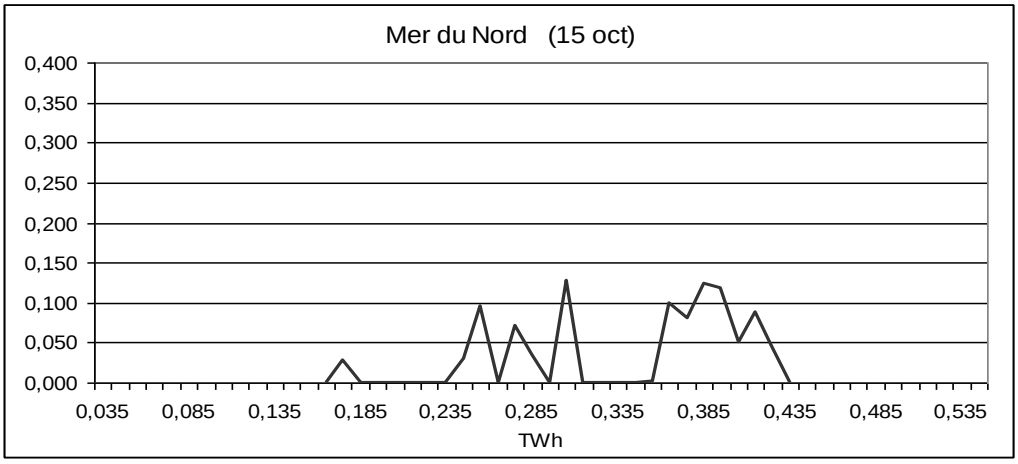

Consommation journalière totale (15 juil)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,35
0,65
0,95
1,25
1,55
1,85
2,15
2,45
2,75
3,05
TWh

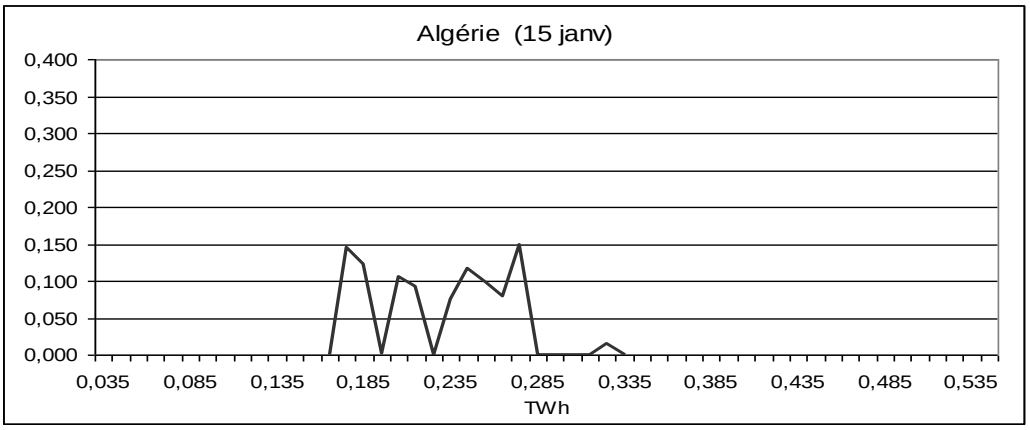

Consommation journalière totale (15 oct)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,35
0,65
0,95
1,25
1,55
1,85
2,15
2,45
2,75
3,05
TWh

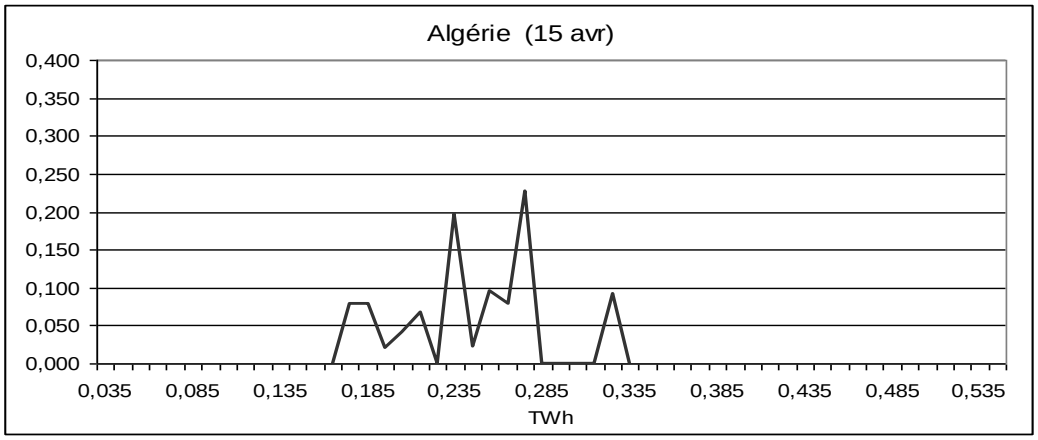

Mer du Nord (15 janv)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

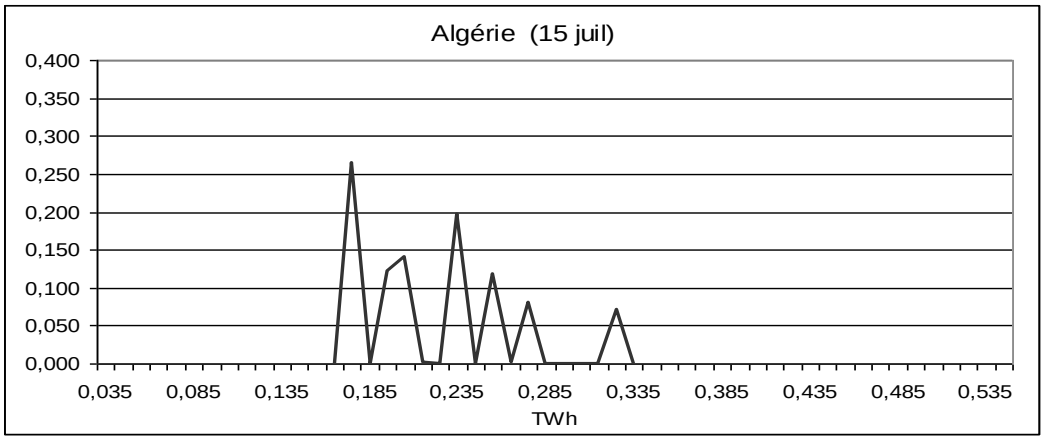

Mer du Nord (15avr)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

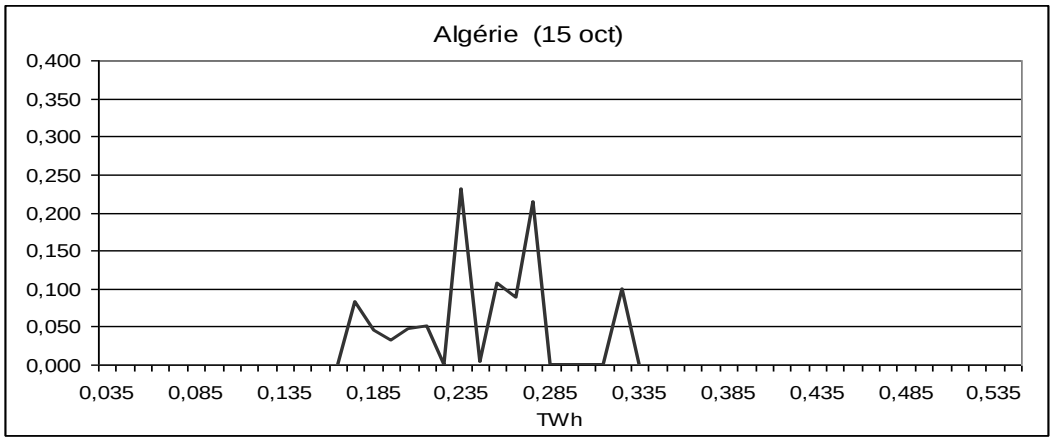

Mer du Nord (15 juil)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

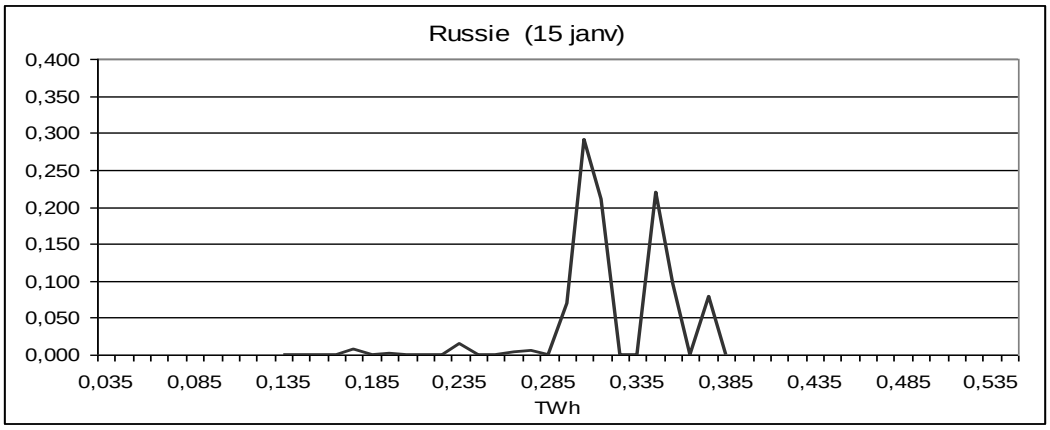

Mer du Nord (15 oct)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

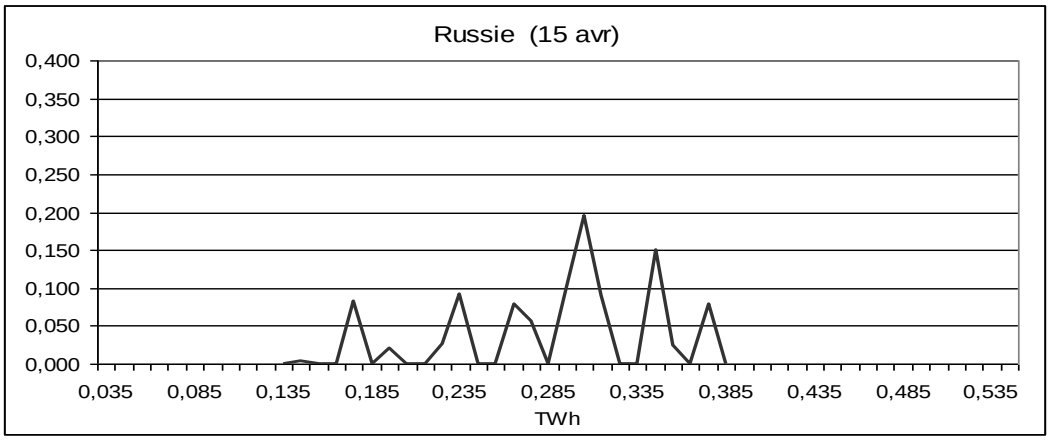

Algérie (15 janv)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

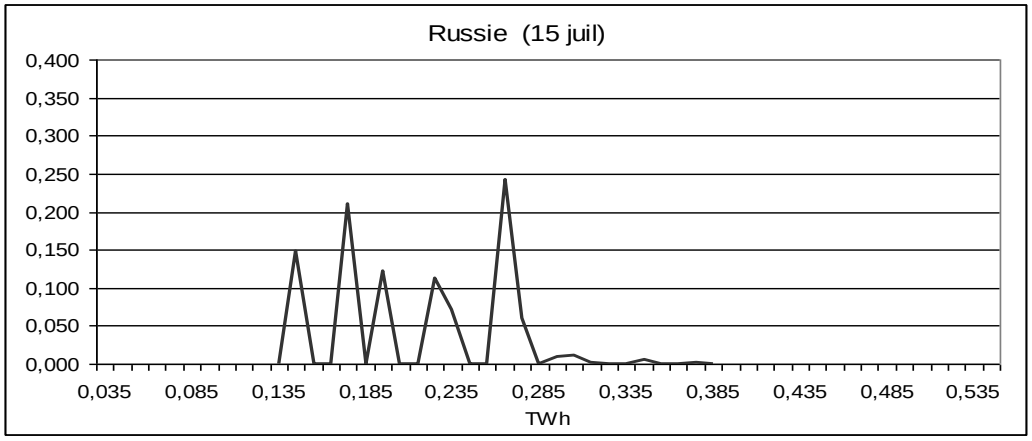

Algérie (15 avr)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

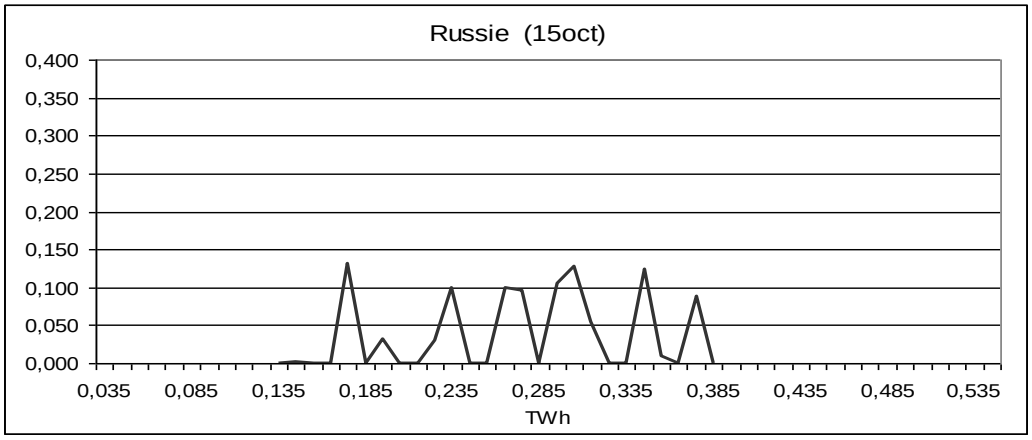

Algérie (15 juil)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

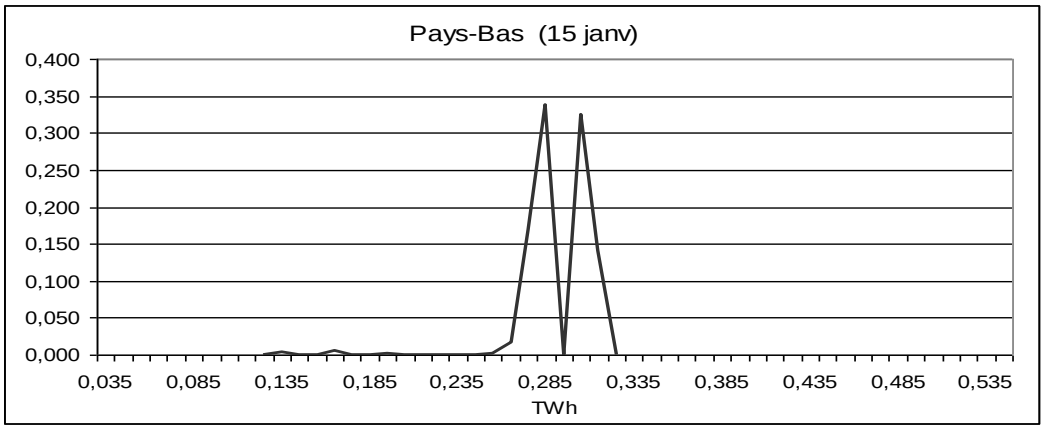

Algérie (15 oct)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

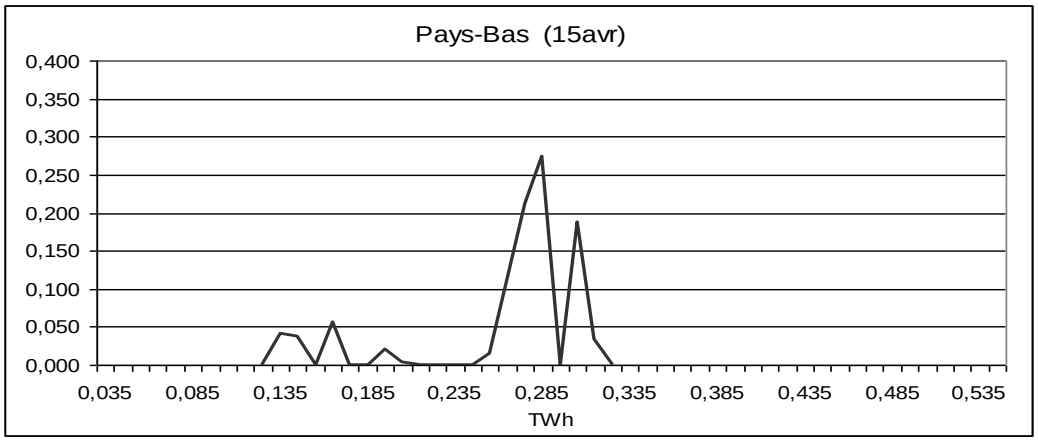

Russie (15 janv)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

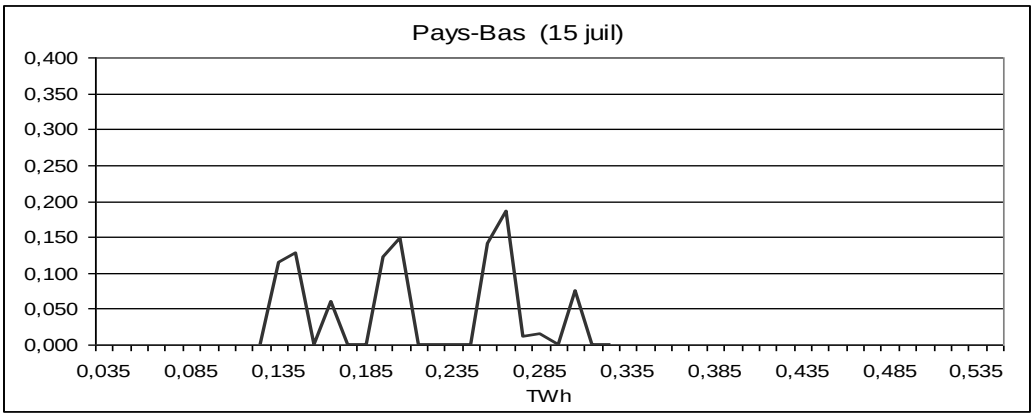

Russie (15 avr)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

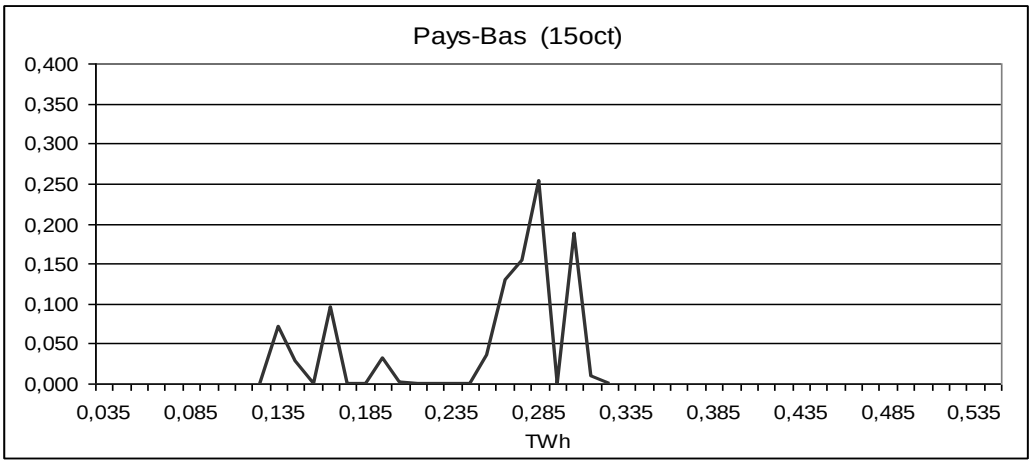

Russie (15 juil)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

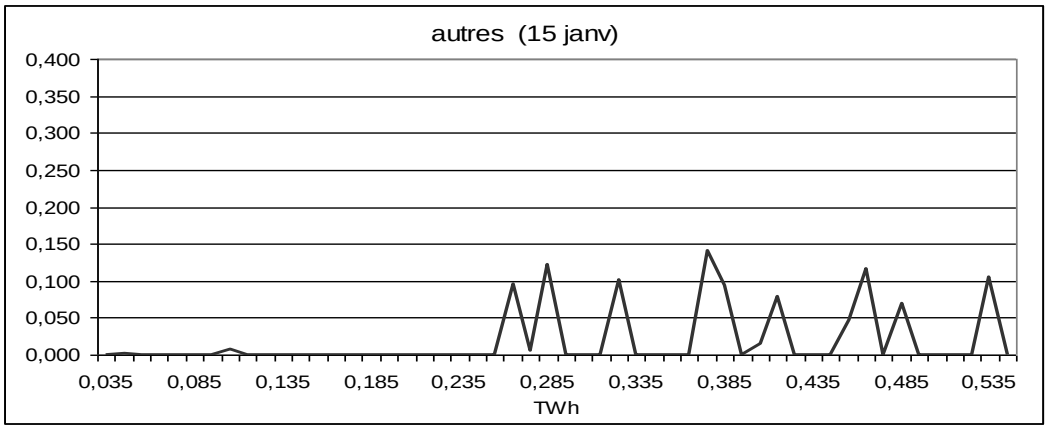

Russie (15oct)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

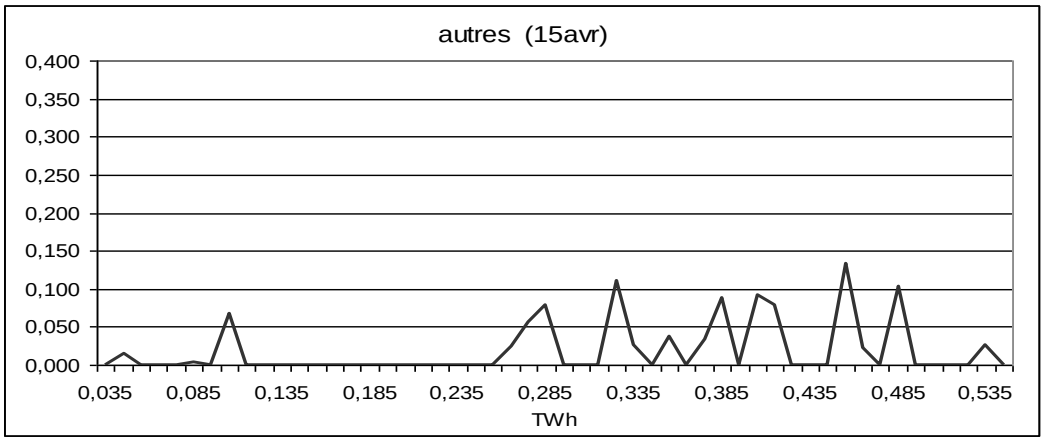

Pays-Bas (15 janv)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

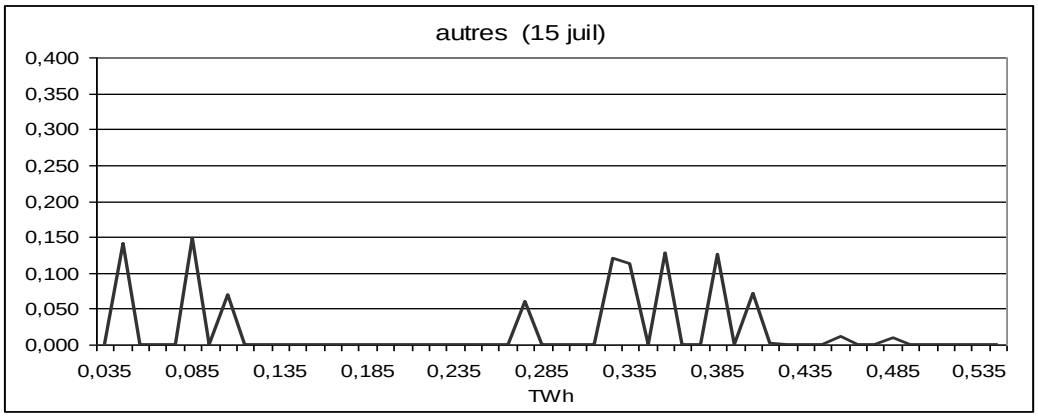

Pays-Bas (15avr)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

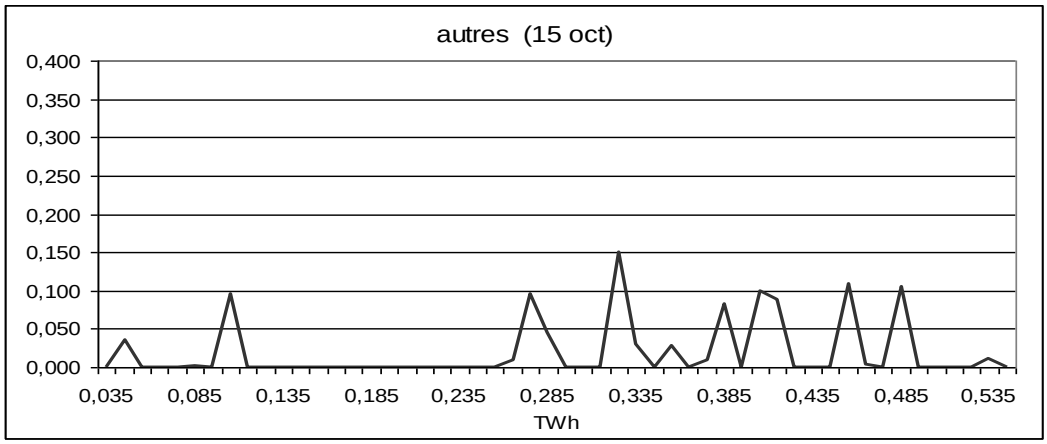

Pays-Bas (15 juil)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh


Pays-Bas (15oct)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh


autres (15 janv)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh


autres (15avr)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh


autres (15 juil)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh


autres (15 oct)
0,400
0,350
0,300
0,250
0,200
0,150
0,100
0,050
0,000
0,035 0,085 0,135 0,185 0,235 0,285 0,335 0,385 0,435 0,485 0,535
TWh

Chapitre V

Les stocks

I. Comment déterminer les stocks ?

Les stocks, à l'évidence, ne peuvent être considérés comme une variable indépendante de la consommation et de l'importation. Bien au contraire, ils sont simplement la différence entre les deux, ou, plus exactement, la différence cumulée.

Dans ce qui suit, nous parlons uniquement des stocks "utiles" (ceux qui peuvent être employés). Il existe aussi des stocks "tampon", normalement non utilisés : quantité de gaz devant nécessairement rester dans les réservoirs.

A la fin de l'hiver, soit le 31 mars, les stocks utiles sont vides ; nous prendrons donc le 1er avril comme date de départ pour notre période de référence.

Nous avons vu, au cours des chapitres précédents, comment déterminer la probabilité de consommation par jour, et la probabilité d'importation, pour chaque fournisseur, également par jour. Dans ce chapitre, nous allons montrer comment en déduire la loi de probabilité "niveau du stock", pour chaque jour.

Nous considérons un stock unique, somme de toutes les réserves de la France.

A la fin de la journée du 1er avril, le montant du stock est égal à l'importation totale pendant cette journée, moins la consommation totale pendant cette même journée, puisque le stock était supposé vide la veille.

Et de même, le 2 avril, le stock est égal à la somme des importations pour les 1er et 2 avril, moins la somme des consommations pour ces mêmes journées.

Et de même pour tout jour k, $k = 1,\ldots,365$, le volume S_k du stock au jour k vaut :

$$S_k = \left(I_1 + \cdots + I_k\right) - \left(C_1 + \cdots + C_k\right) \tag{1}$$

où I_k désigne l'importation au jour k et C_k la consommation ce même jour.

La formule (1) étant explicite, il est possible en théorie de déduire la loi de probabilité du stock au jour k des lois de probabilité des importations et des consommations pendant tous les jours qui ont précédé. Mais la loi de probabilité d'une somme de variables aléatoires indépendantes n'est pas simple ; mathématiquement, elle s'exprime comme le produit de convolution des lois, qui ne se calcule pas facilement.

Notons que nous faisons ici une hypothèse d'indépendance, pour la consommation comme pour les importations, d'un jour à l'autre. Stricto sensu, cette hypothèse n'est pas satisfaite pour de courtes périodes : la température d'une journée influence certainement celle du jour suivant. Mais elle est satisfaite sur des périodes plus longues (4-5 jours).

II. Loi de probabilité des stocks

Pour remédier à la difficulté technique liée au calcul des lois des S_k, nous utilisons une méthode de type "Monte-Carlo".

Comme nous connaissons les lois des importations et des consommations, pour chaque jour, nous pouvons simuler 10 000 tirages pour chacun d'eux. Cela revient à dire que la consommation et les importations ont été observées, chaque jour de l'année, pendant 10 000 ans. Nous constituons ainsi 10 000 scénarios.

Les lois des différentes variables (consommations, importations) sont différentes entre elles, et différentes d'un jour à l'autre.

Voici comment on procède pour réaliser un grand nombre de tirages pour une variable aléatoire ayant une loi donnée. Nous prenons l'exemple de la consommation du 1er avril.

Nous connaissons la loi de probabilité de consommation, ce jour-là, sous forme d'un tableau :

Consommation le milieu de l'intervalle (TWh)	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	…	2,75	2,85	2,95	3,05	3,15	3,25
proba	0,000	0,003	0,011	0,030	0,053	0,067	0,063	…	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000

Tableau 1 : la loi de probabilité de consommation pour le 1er avril

On vérifie que la somme des probabilités de ce tableau est égale à 1. On décompose le segment [0, 1] en intervalles de longueurs égales aux probabilités non nulles dans le tableau ci-dessus. Dans notre exemple, le premier intervalle aura pour longueur 0,003, le second pour longueur 0,011, etc. Les points considérés entre 0 et 1 seront donc 0,003, 0,014, etc. On obtient ainsi une partition du segment [0, 1] en intervalles, chacun ayant pour longueur la probabilité correspondante dans le tableau ci-dessus.

Au moyen de la fonction Excel "random", on génère un nombre aléatoire selon une loi uniforme entre 0 et 1 ; on regarde dans quel intervalle il tombe et on choisit la consommation correspondante. On a ainsi généré une variable aléatoire ayant la loi présentée dans le tableau ci-dessus.

Par exemple, pour le premier intervalle, 0 – 0,003, on a une consommation de 0,45 TWh, pour celui entre 0,003 and 0,014, nous avons 0,55 TWh et pour le dernier intervalle entre 0,997 et 1, la consommation est 2,85 TWh.

Voici la consommation associée à chaque nombre tiré (c'est simplement le milieu de l'intervalle correspondant) :

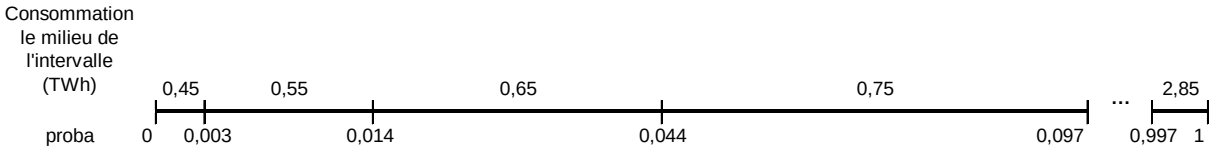


Table 2 : consommation associée à chaque probabilité

Nous répétons cette opération pour chaque jour et pour les consommations et les diverses importations. Le résultat sera donc un ensemble de 6 matrices à 10 000 lignes et 366 colonnes : il y a une matrice pour les consommations et 5 pour les importations. Chaque case contient une consommation.

Pour chacun de ces 10 000 tirages, nous calculons le niveau du stock chaque jour, grâce à la formule (1) : le calcul est ici immédiat.

Et ensuite, à partir de ces 10 000 informations de stock pour chaque jour, nous reconstituons la loi de probabilité du stock pour cette journée-là.

Le nombre 10 000 est choisi pour avoir une loi suffisamment précise pour les stocks, compte-tenu du niveau de précision des lois sur chacune des variables utilisée dans la formule (1).

Après 10 000 tirages, on recueille un histogramme, obtenu en répartissant les valeurs de stock par intervalles de 0,5 TWh comme précédemment. Voici quatre de ces lois de probabilité pour les stocks, pour quatre jours différents :

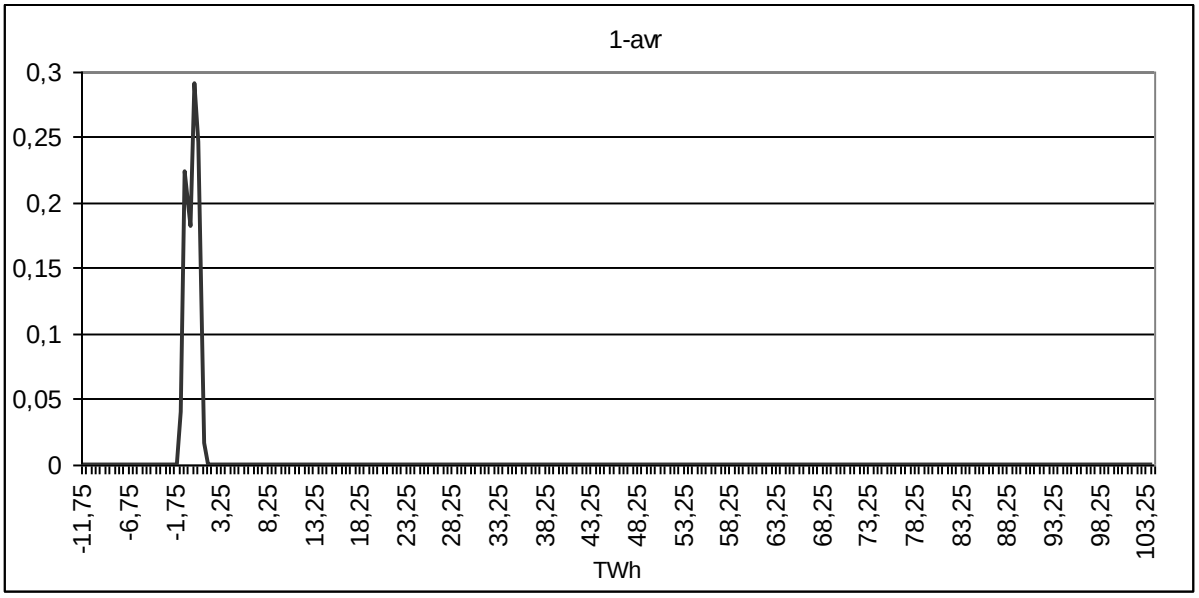


Figure 3 : loi de probabilité des stocks au 1er avril

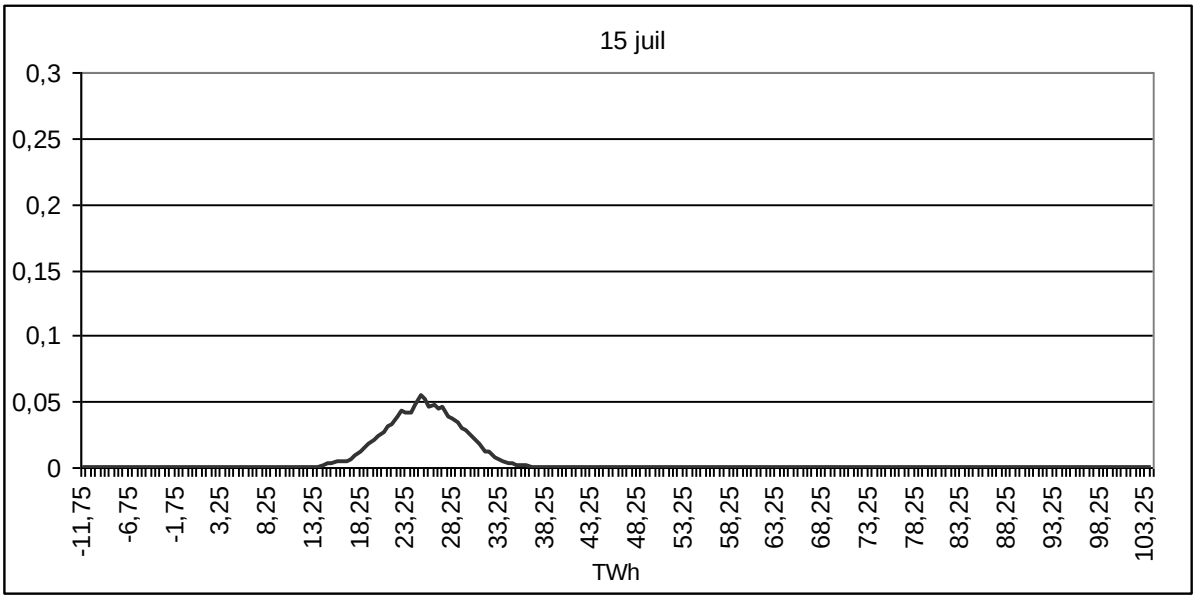


Figure 4 : loi de probabilité des stocks au 15 juillet

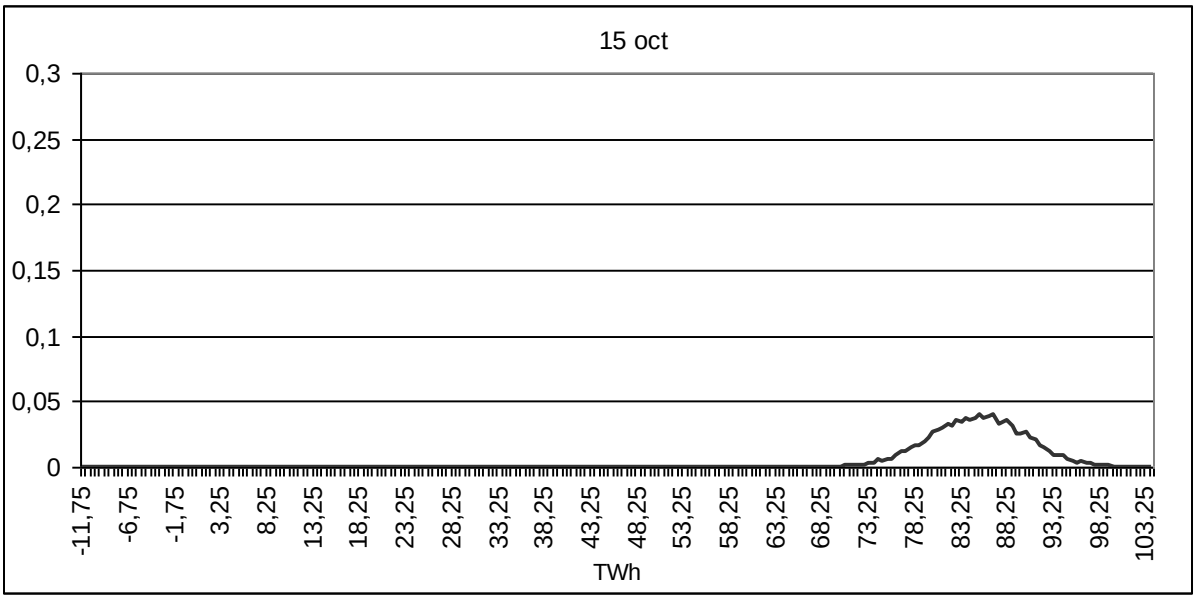


Figure 5 : loi de probabilité des stocks au 15 octobre

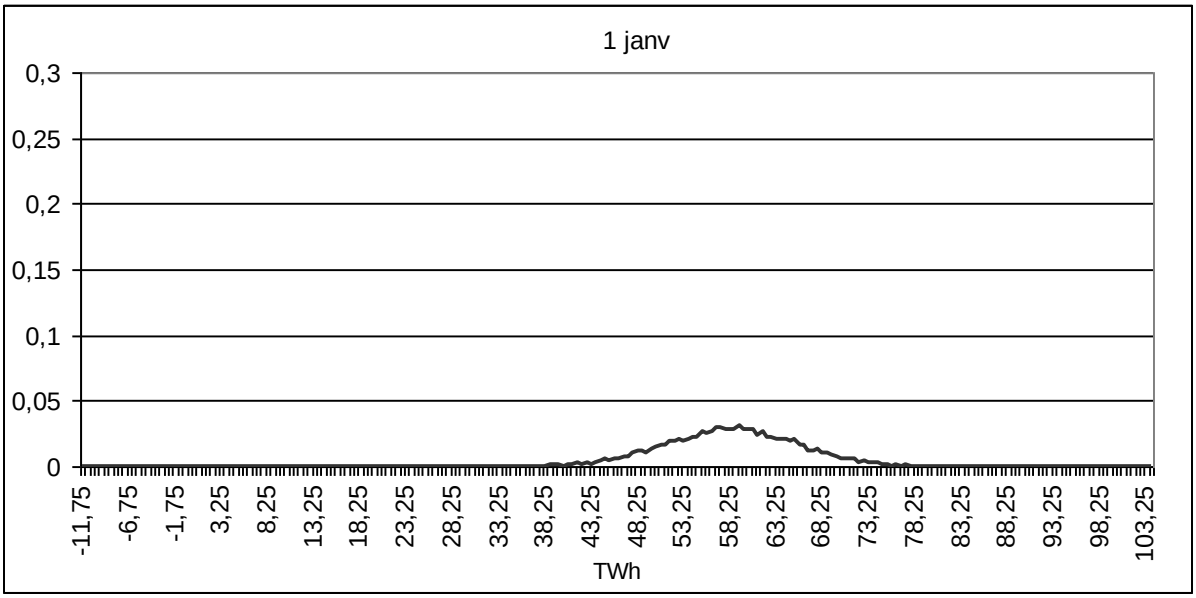


Figure 6 : loi de probabilité des stocks au 1er janvier

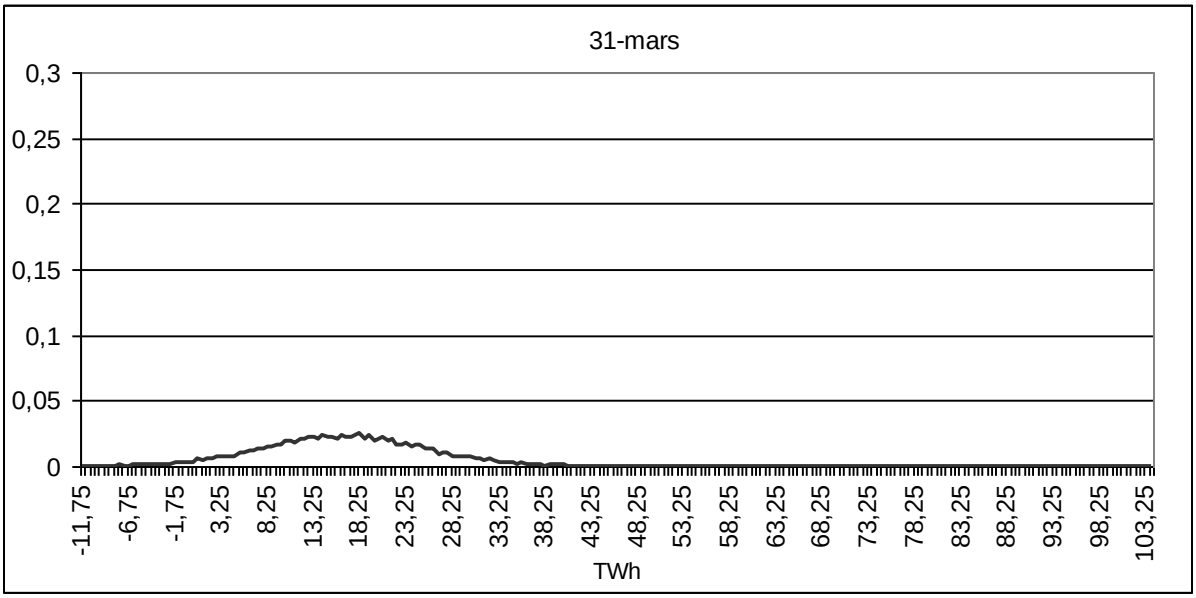


Figure 7 : loi de probabilité des stocks au 31 mars

A partir de ces tables, on détermine facilement les jours "dangereux" : ce sont ceux où l'on risque d'obtenir des valeurs négatives pour les stocks. On constate que c'est le cas du 1er avril au 27 mai et du 24 février au 31 mars.

Afin de vérifier les résultats, nous calculons le stock moyen par jour, et faisons les comparaisons avec les valeurs réelles, dont nous disposons entre le 1er avril 2005 et le 31 mars 2006.

Dans le graphe ci-dessous, le stock moyen, issu de nos calculs, est en noir ; le stock réel pour la période considérée est en rouge puis bleu.

Le stock augmente jusqu'au 14 novembre, puis décroît rapidement.

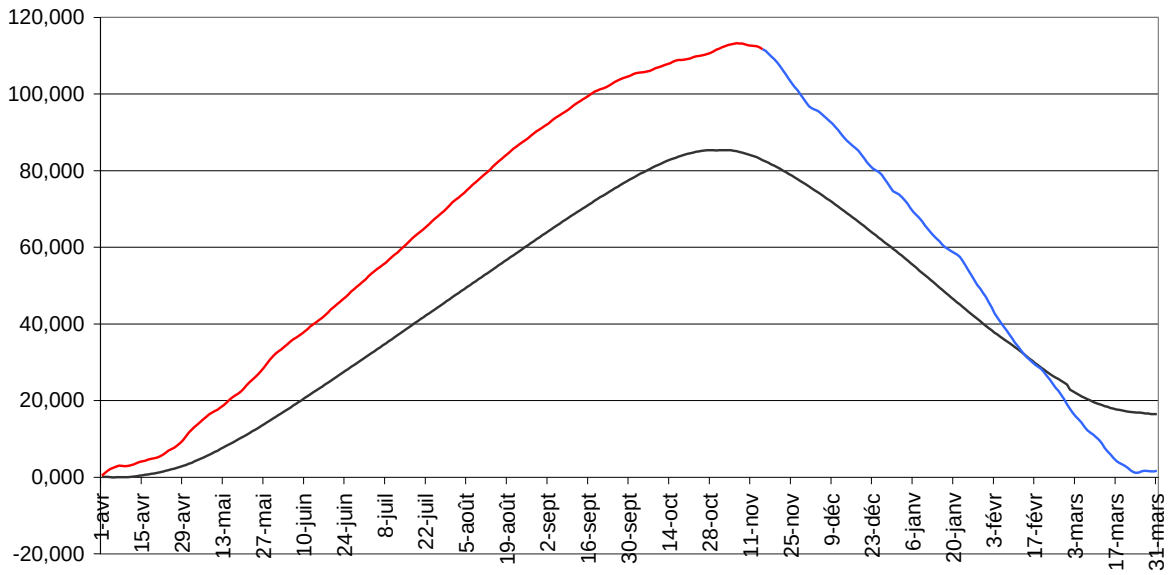


Figure 8 : comparaison stock moyen – stock réel

La différence entre les deux s'explique aisément si l'on regarde la température pendant 2005-2006, comparée à la température moyenne, calculée sur 106 ans ; le résultat est présenté dans le graphe ci-dessous. En noir, température moyenne ; en rouge-bleu, température pendant 2005-2006.

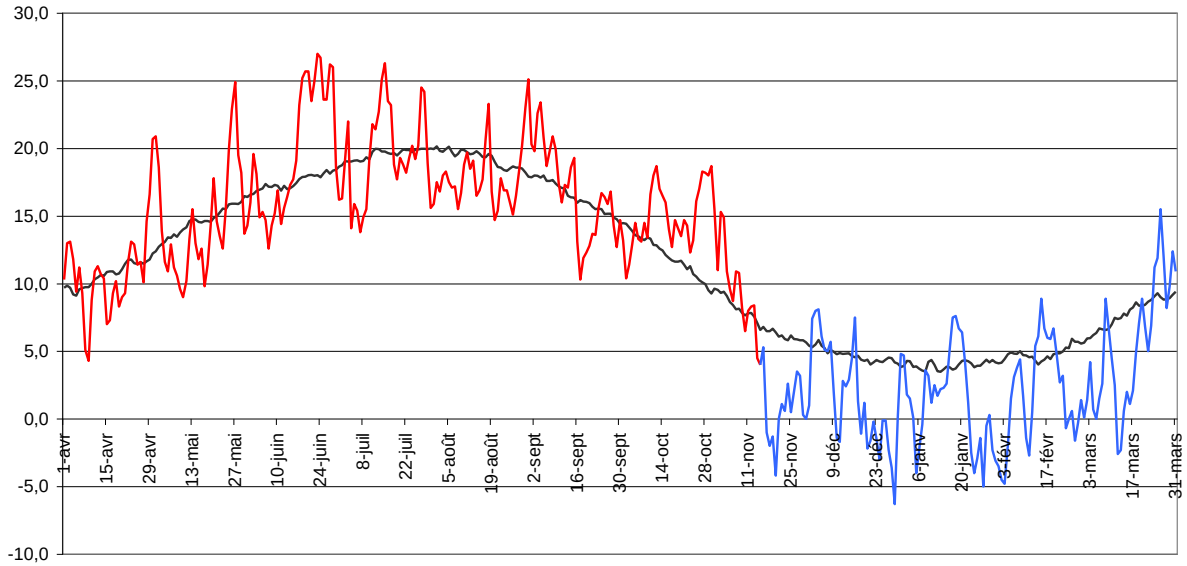


Figure 9 : comparaison des températures moyennes et réelles en 2005-2006

Avant le 14 novembre 2005, les températures observées cette année-là sont supérieures à la moyenne (en moyenne de 0,6°C chaque jour). A l'inverse, après le 14 novembre, les températures sont inférieures à la moyenne (en moyenne de 3,1°C chaque jour).

Chapitre VI

Analyse des résultats

Dans ce chapitre, nous allons analyser les résultats obtenus au chapitre précédent, en ce qui concerne les stocks, et en déduire un certain nombre de recommandations. En cas d'insuffisance, quatre remèdes peuvent être considérés :

I. Les remèdes possibles

Passons tout d'abord la liste en revue :

A. Effacement jours de pointe

On négocie avec certains gros industriels une réduction de leur consommation certains jours, avec un préavis ; ils bénéficient alors de conditions financières d'abonnement plus avantageuses.

Cette méthode ne peut être employée que si les jours où les stocks sont insuffisants sont en nombre limité. Elle réduit le bilan annuel de consommation. Elle a l'avantage de pouvoir être décidée « en interne » (sans consultation internationale).

B. Accroissement de la taille des stocks

Elle ne peut être utilisée que si le bilan annuel est positif : elle n'a pas d'influence sur le bilan annuel. Elle a l'avantage de pouvoir être décidée « en interne ».

C. Accroissement du nombre des fournisseurs ou remplacement de certains d'entre eux

Elle ne se justifie que si un ou plusieurs des fournisseurs sont peu fiables ; par exemple s'ils montrent de très grosses variations d'approvisionnement. Cette méthode ne modifie pas le bilan annuel, ni la taille des stocks. Elle requiert des consultations externes (avec le précédent fournisseur et avec le nouveau).

D. Accroissement uniforme des livraisons provenant des fournisseurs actuels

Cette méthode est à employer si les fournisseurs actuels donnent satisfaction et seulement pour répondre à une augmentation uniforme de la demande.

II. Analyse de chaque remède du point de vue des données

A. Effacement jours de pointe

Les journées les plus dangereuses, du point de vue des stocks, sont entre le 1er avril et le 27 mai et entre le 24 février et le 31 mars : c'est là que les stocks peuvent être négatifs.

Donnons, pour chacune de ces journées, la probabilité d'avoir un stock négatif et la quantité de gaz nécessaire. Les jours où la probabilité est élevée ne sont pas ceux où la quantité demandée est importante, comme on le voit sur les graphes ci-dessous.

Par exemple, pour le 1er avril, la probabilité d'avoir un stock négatif est de 0,446. Mais la quantité de gaz nécessaire est 3 TWh.

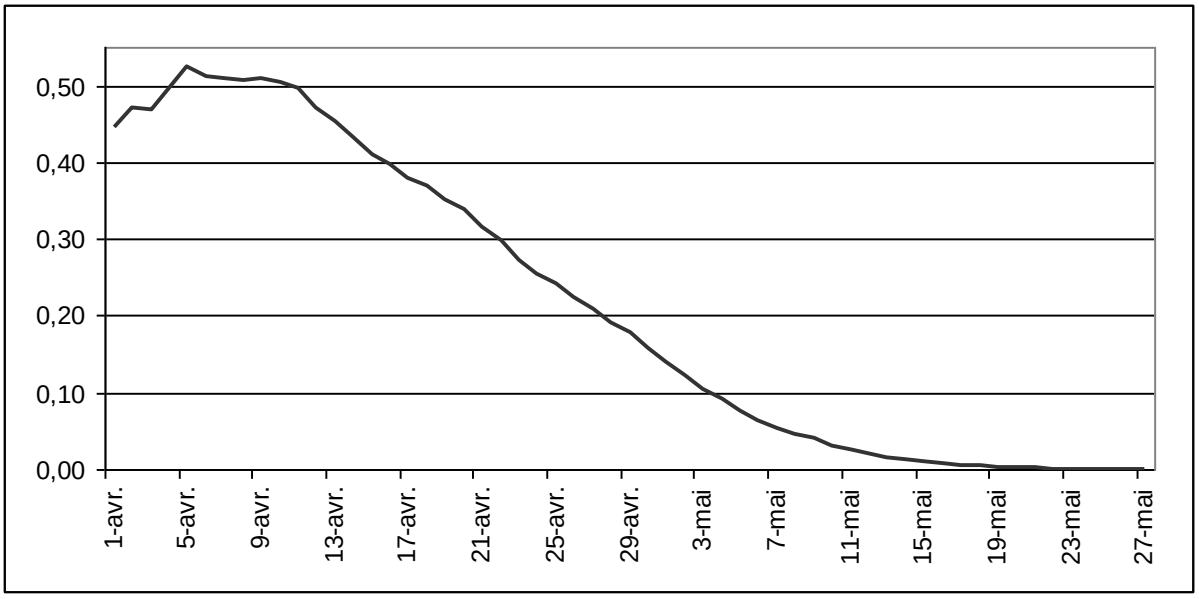


Table 1 : probabilité, selon les jours, d'avoir un stock négatif, après le 1er avril

Sur le second graphe, nous voyons le besoin en gaz, pour ces mêmes jours.

Les deux graphes ne se recoupent pas (fin mars ne coïncide pas avec début avril), parce que nous travaillons sur des données réelles, et que en réalité les stocks se sont accrus.

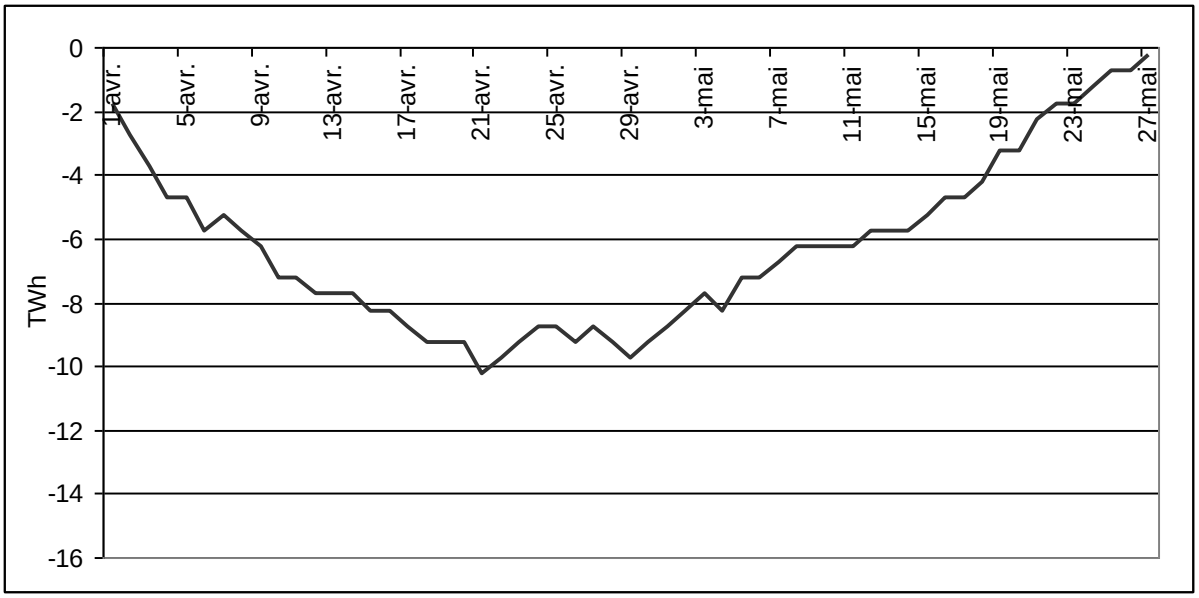


Table 2 : les besoins en gaz non satisfaits, pour ces mêmes jours (après le 1er avril)

Voici les résultats analogues pour la fin du cycle, c'est-à-dire pour la fin mars :

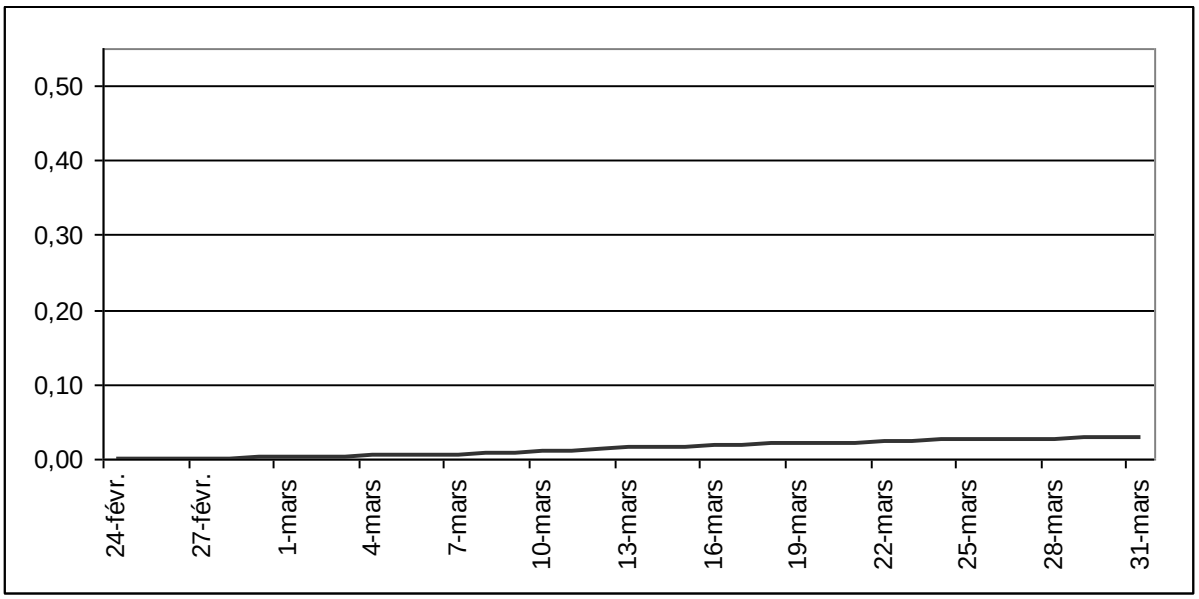


Table 3 : probabilité d'avoir un stock négatif, par jour, fin mars.

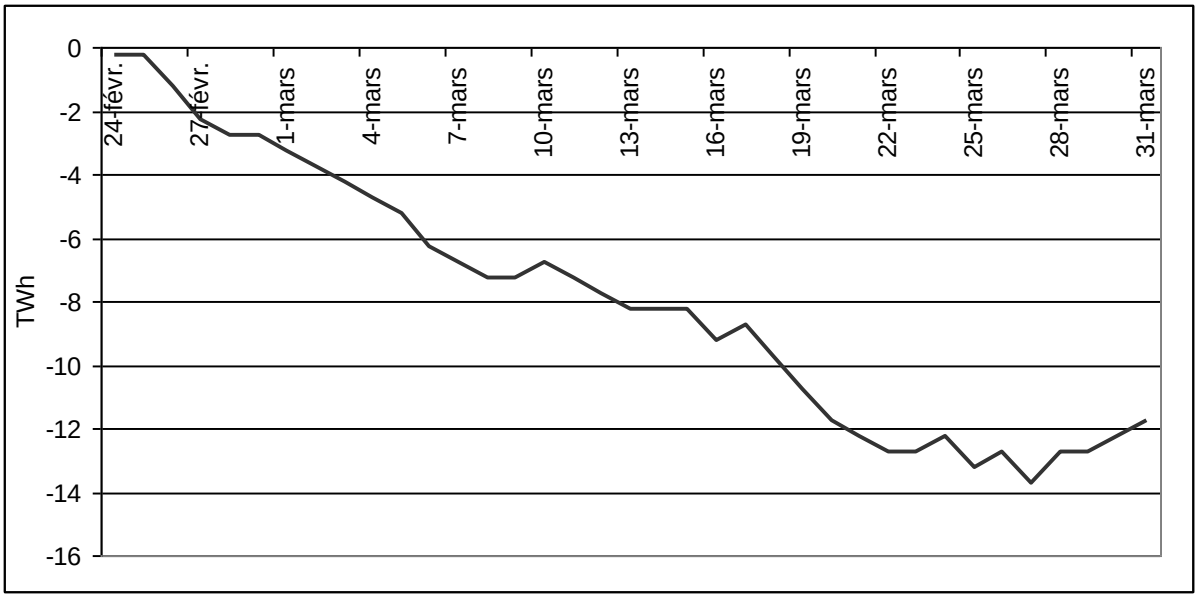


Table 4 : besoins en gaz non satisfaits, fin mars

Notre conclusion est ici que les dates en cause sont trop nombreuses et les besoins trop importants : le système d'effacement des jours de pointe ne suffit pas.

B. Accroissement de la taille des stocks

La probabilité d'avoir un résultat global négatif à la fin de mars est seulement 0,03 : cette probabilité est très faible. Cela indique que, dans l'état actuel des choses, les importations équilibrent grossièrement les dépenses, sur l'ensemble de l'année.

Par contre, sur les 10 000 scénarios lancés, 85 % enregistrent, à un moment ou à un autre, un stock négatif : on est confronté, 85 fois sur 100, à une difficulté d'approvisionnement. Pour 82 %, ces difficultés sont concentrées sur les 10 premiers jours d'avril.

Les conséquences sont très claires : il faut accroître la taille des stocks, de manière à ce que, début avril, les stocks ne soient pas nuls. S'ils le sont, les risques sont trop importants d'une rupture dans les jours qui suivent.

Pour savoir quel accroissement de stock est nécessaire, il suffit de reprendre les mêmes valeurs, en ajoutant 0, 1, 2, 3, etc. TWh au stock initial, supposé nul au 1er avril. Voici les résultats :

stock comp.	0	1	2	3	4	5
proba	0,851	0,585	0,349	0,182	0,086	0,040

Table 5 : les stocks complémentaires

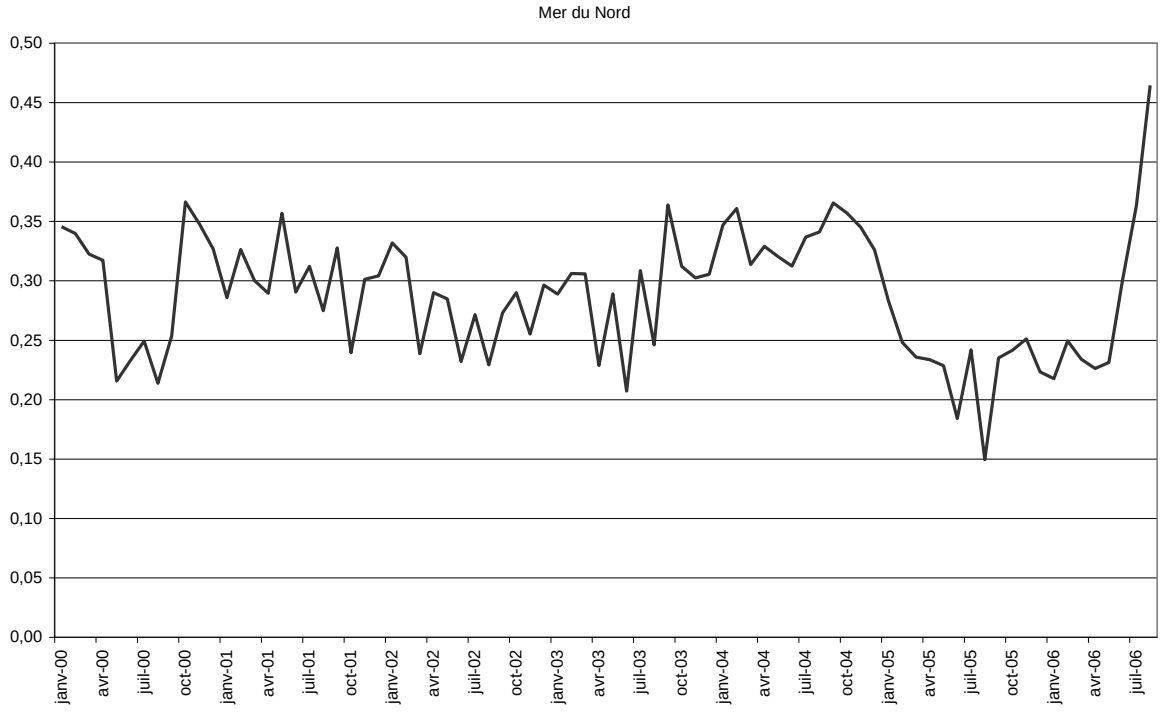
Nous constatons ainsi qu'avec un complément de stock de 4 TWh la probabilité de rupture n'est plus que de 8,6 %, ce qui est très satisfaisant.

Comme nous l'avons déjà dit, il n'est pas nécessaire d'accroître les importations globales.

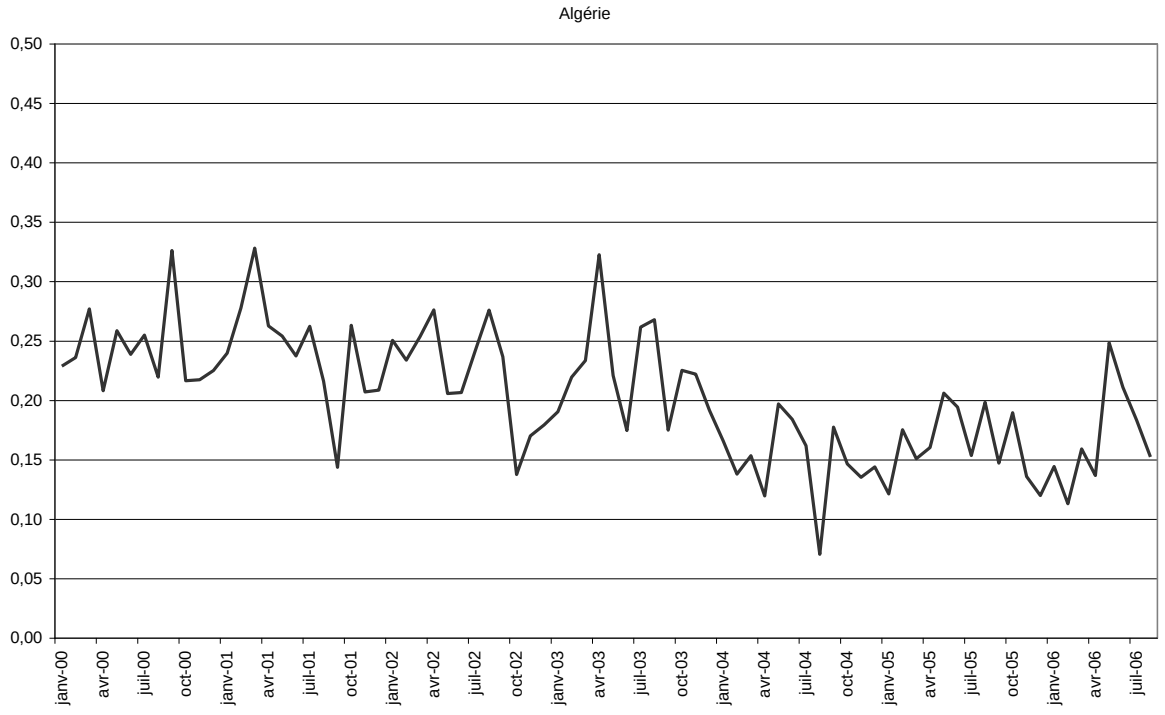
C. Fiabilité des fournisseurs

Nous avons analysé les chiffres d'importation correspondant aux cinq fournisseurs : Mer du Nord, Algérie, Russie, Pays Bas, Autres, entre janvier 2000 et août 2006.

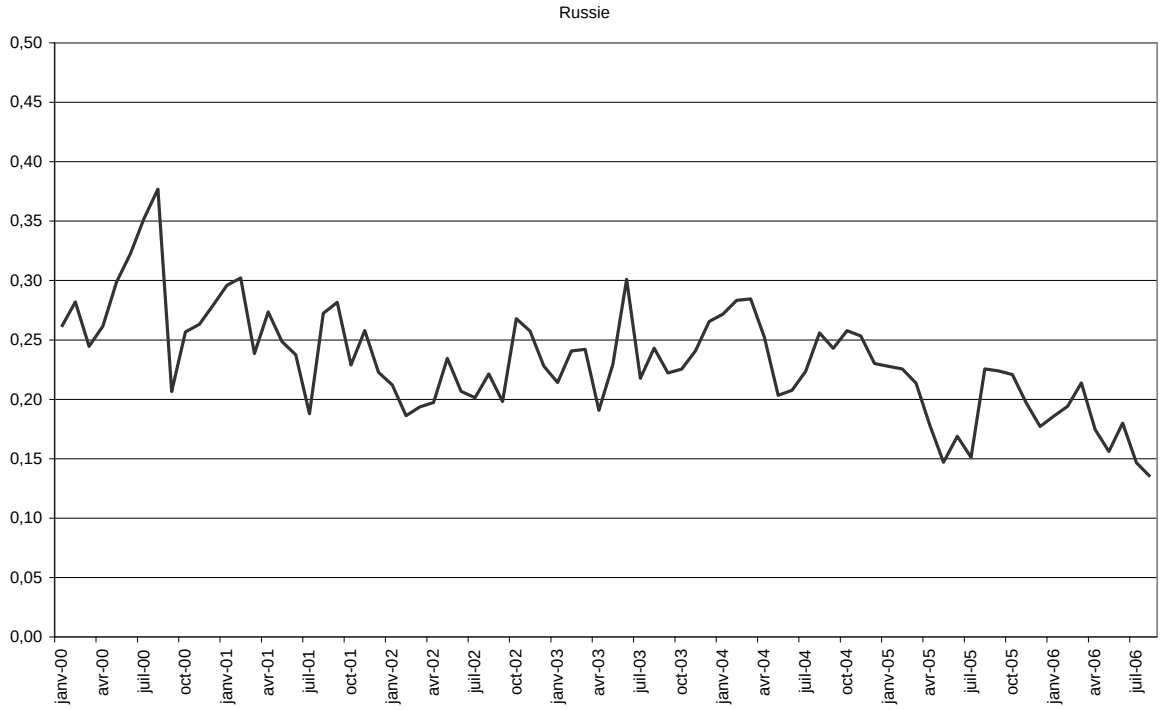
Nous nous intéressons à la part de chaque fournisseur, en pourcentage de l'ensemble des importations. Les graphes ci-dessous décrivent l'évolution de cette part avec le temps.



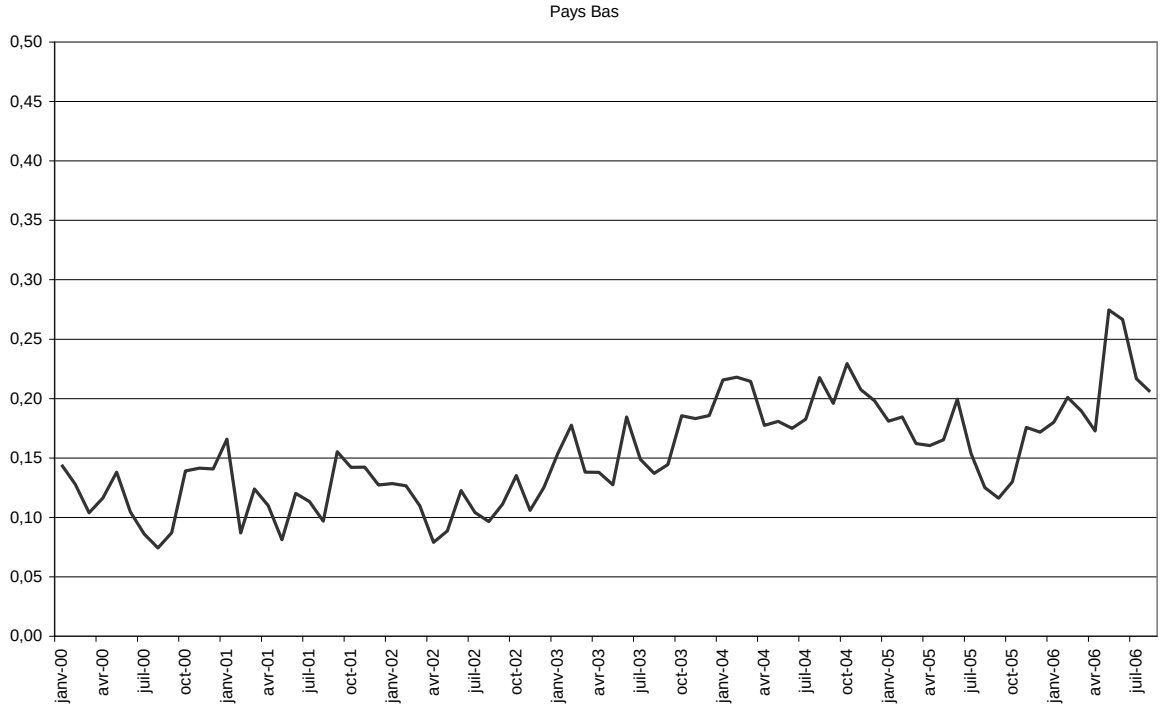
Graphe 6 : évolution de la part de la Mer du Nord dans l'ensemble des fournisseurs



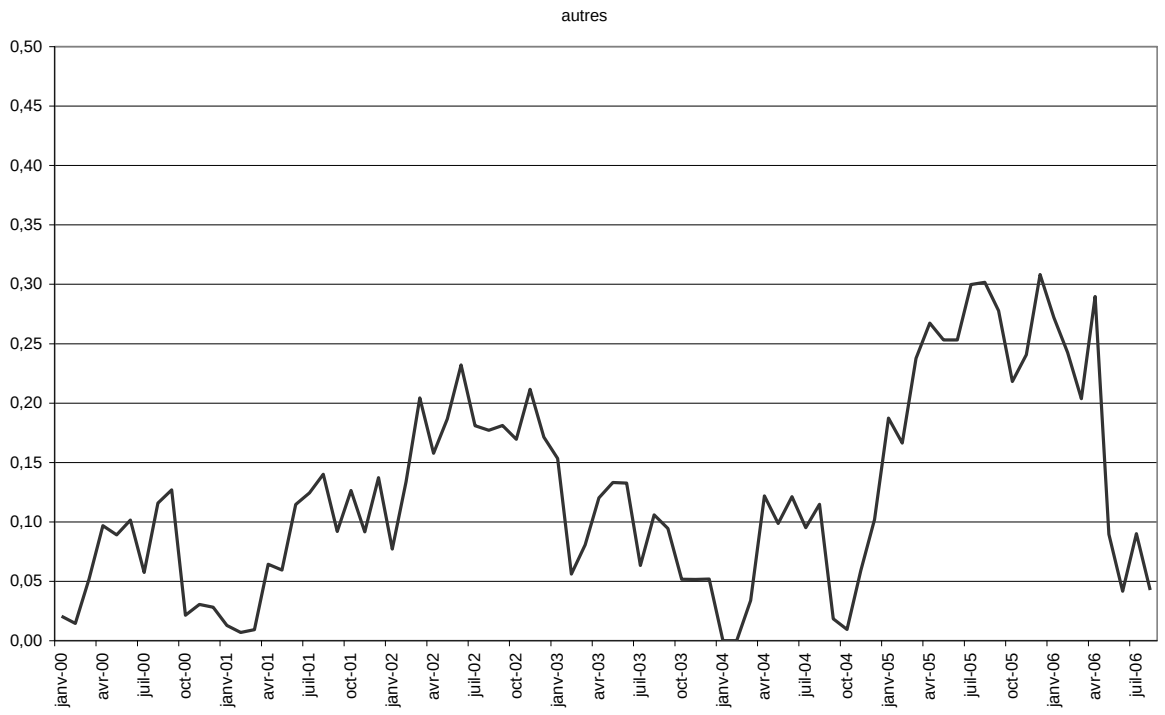
Graphe 7 : évolution de la part de l'Algérie dans l'ensemble des fournisseurs



Graphe 8 : évolution de la part de la Russie dans l'ensemble des fournisseurs



Graphe 9 : évolution de la part des Pays Bas dans l'ensemble des fournisseurs



Graphe 10 : évolution de la part des autres dans l'ensemble des fournisseurs

Voici un tableau des variances respectives par fournisseur. Une variance élevée indique une grande dispersion des valeurs (fournisseur peu fiable) :

	Mer du Nord	Algérie	Russie	Pays Bas	autres
Variance	0,0028	0,0028	0,0020	0,0019	0,0070

Tableau 11 : variance de chaque fournisseur

En conclusion, il apparaît qu'aucun fournisseur n'est particulièrement déficient. Les deux premiers (Mer du Nord et Algérie) ont une variance sensiblement plus élevée ; les Pays Bas sont les plus fiables.

Notons que, en juillet 2005, les quatre principaux fournisseurs ont simultanément diminué leurs livraisons, ce qui a nécessité le recours à la catégorie « autres ».

D. Accroissement uniforme

Nous avons répondu par la négative à cette question au paragraphe B ci-dessus.

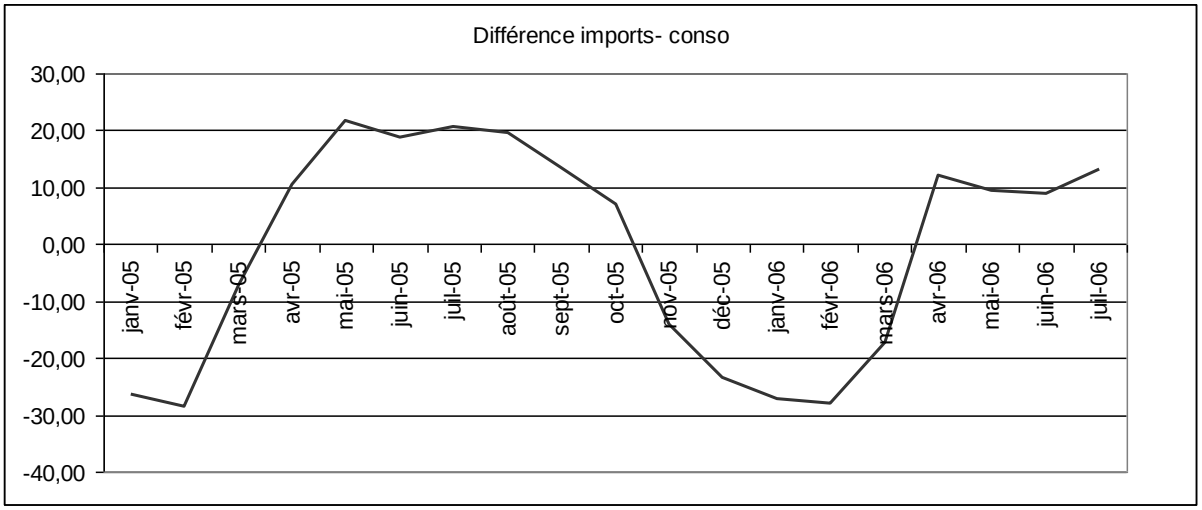
Chapitre VII

Analyse des données récentes

Nous allons maintenant examiner les données récentes, en dehors de toute approche probabiliste. Il s'agit de déceler d'éventuelles anomalies : l'année en cours ressemble-t-elle aux précédentes, ou bien en diffère-t-elle ?

I. Importations versus consommations

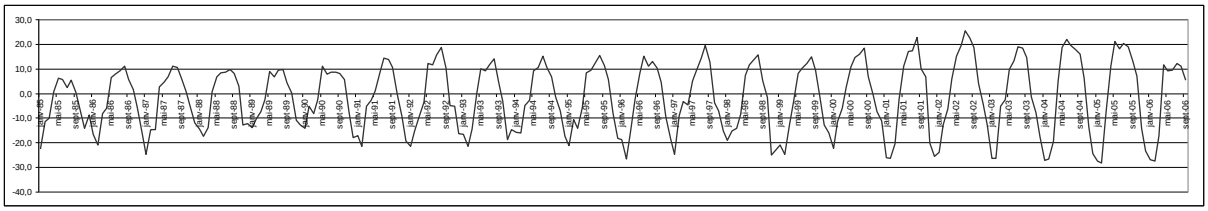
Commençons par regarder la différence entre les importations et les consommations, par mois, depuis janvier 2005, sans nous soucier des stocks. Cette différence est représentée sur le graphe suivant :



Graphe 1 : différence importations-consommations depuis janvier 2005

Le minimum, lorsque la consommation l'emporte de beaucoup sur les importations, est atteint en février, que ce soit en 2005 ou en 2006, et il a sensiblement la même valeur. La courbe de remontée, après février, a la même forme dans les deux cas. Par contre, le maximum, lorsque les importations l'emportent sur les consommations, est beaucoup plus faible en avril 06 que en avril 05 : les importations maximales ont été plus faibles.

Voici la même courbe, différence importations-consommations, depuis janvier 1985 : on constate qu'il faut remonter à un passé très ancien (1988) pour trouver une valeur aussi faible.

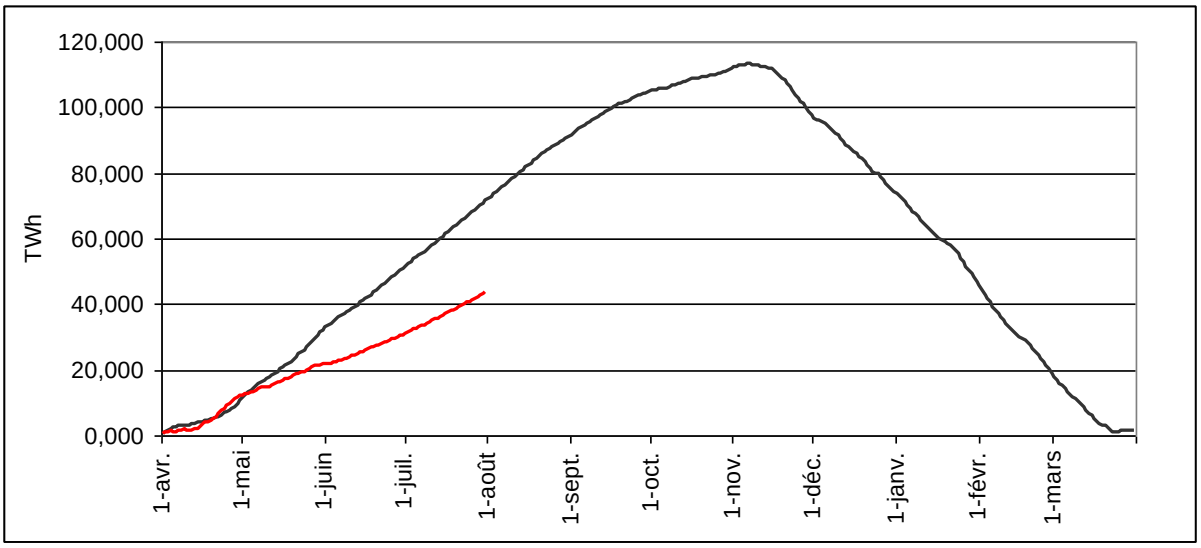


Graphe 2 : différence importations-consommations depuis 1985

Voyons maintenant l'évolution annuelle des stocks

II. Evolution annuelle des stocks

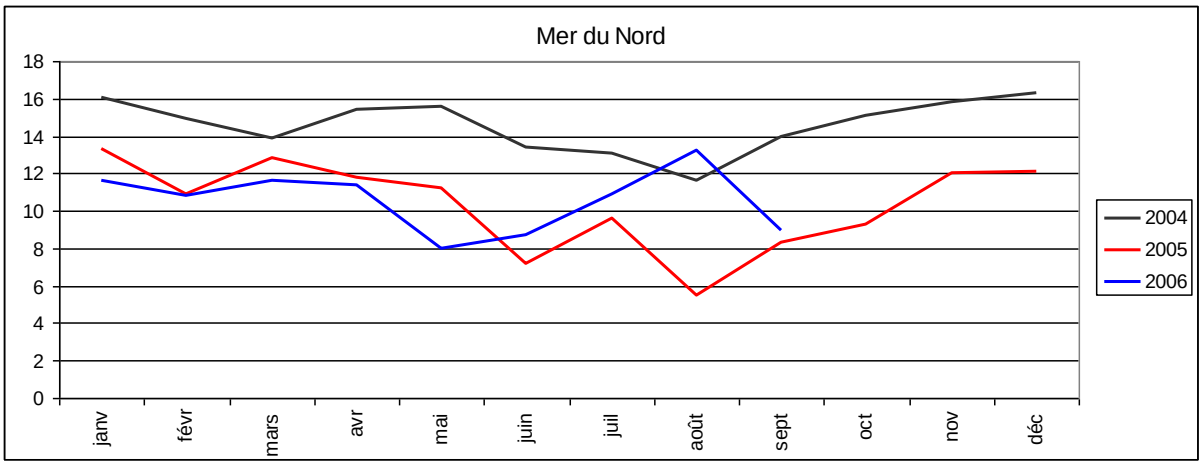
Elle est représentée sur le graphe ci-dessous. En noir, l'évolution annuelle du stock entre le 1er avril 2005 et le 31 mars 2006 ; en rouge, l'évolution depuis le 1er avril 2006. Dans les deux cas, les stocks sont mis à zéro en début de période (ils sont effectivement à zéro).



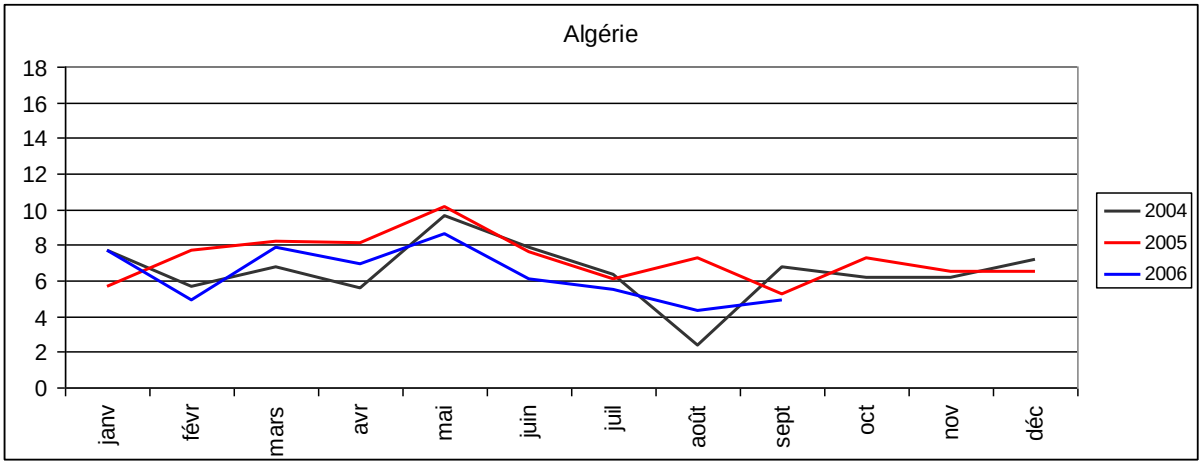
Graphe 3 : évolution annuelle des stocks, comparaison sur deux années

Ce graphique montre clairement que l'évolution actuelle est préoccupante.

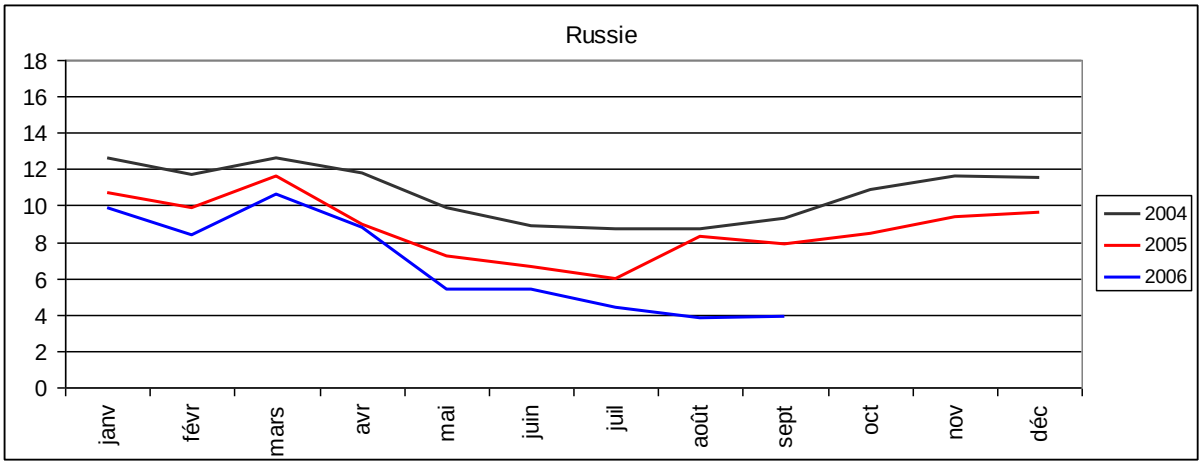
Voyons maintenant de quels fournisseurs les problèmes peuvent venir. Dans les graphes ci-dessous, on trouve la variation des importations, en TWh, pour chaque producteur, sur trois ans : en noir 2004, en rouge 2005, en bleu 2006 :



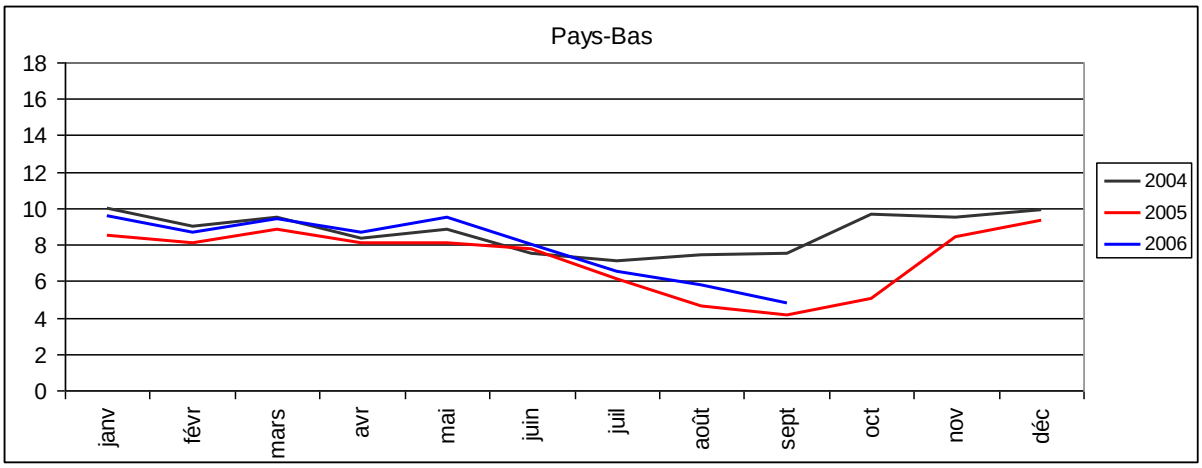
Graphe 4 : les importations en provenance de la Mer du Nord ; comparaison sur trois ans



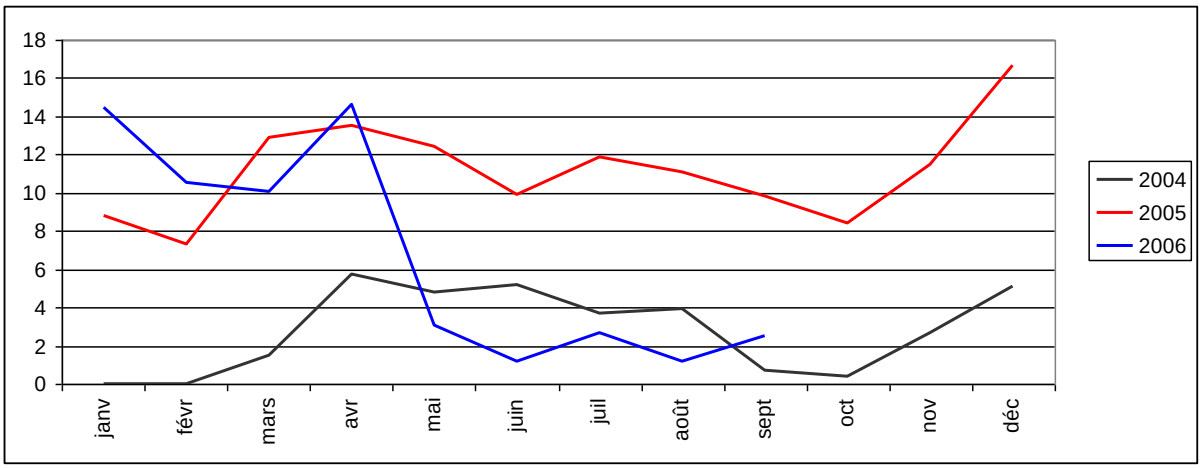
Graphe 5 : les importations en provenance d'Algérie ; comparaison sur trois ans



Graphe 6 : les importations en provenance de Russie ; comparaison sur trois ans



Graphe 7 : les importations en provenance des Pays-Bas ; comparaison sur trois ans



Graphe 8 : les importations en provenance des autres pays ; comparaison sur trois ans

On constate immédiatement que c'est la Russie qui est à l'origine du souci évoqué plus haut : les importations en provenance de ce pays sont plus réduites cette année qu'au cours des deux années précédentes ; de plus, elles décroissent de mois en mois

Seconde Partie

Analyse sociale

Chapitre I

Présentation générale

L'analyse scientifique que nous avons faite pendant la Première Partie est nécessaire, mais nullement suffisante, pour comprendre la problématique liée aux approvisionnements en gaz naturel.

Il ne suffit pas, en effet, de contempler des listes de chiffres liés à nos stocks, à notre consommation, à nos importations : il faut en effet comprendre d'où viennent les problèmes, même si les remèdes internationaux paraissent difficiles, et même hors de portée.

L'instabilité internationale, en ce domaine, tient en effet à quatre facteurs essentiels :

- De nombreux pays, notamment en Europe de l'Est, ont une économie très dépendante du gaz, qui constitue pour eux la source principale d'approvisionnement en énergie (ce qui n'est pas le cas pour nous) ;

- Ces pays sont politiquement instables et très endettés ;

- Le prix d'exportation du gaz apparaît de plus en plus, en Russie, comme étant une arme politique ;

- Le prix du gaz domestique, en Russie, est très inférieur au seuil de rentabilité, permettant d'équilibrer l'exploitation : cela représente une subvention indirecte mais réelle à toutes les industries, puisque leur énergie est moins chère.

Nous allons examiner cela de plus près.

Chapitre II

l'Ukraine

La situation la plus instable, du point de vue du gaz, est celle de l'Ukraine. Ce pays a en effet une consommation très importante, et une forte dette.

I. La consommation ukrainienne de gaz

Dans la table qui suit, on peut voir la consommation pour les années 1999-2005 et les prévisions pour la période 2006-2030. Pour cette période, deux scénarios apparaissent, selon que le pays oriente sa production d'énergie vers le charbon ou vers le gaz.

année	conso domestique milliards m3	production nationale milliards m3	importations milliards m3
1999	75,7	16,9	58,8
2000	73,4	18,1	55,3
2005	71,0	21,8	49,7
2006	77,5	20,6	56,9
2010	73,0 - 74,0	24,5 - 28,0	45,0 - 49,5
2020	102 - 118	25	77 - 93
2030	117 - 137	25	92 - 112

Table 1 : consommation, production, importation par année pour l'Ukraine

La principale compagnie ukrainienne de gaz est "Nafto-Gas" (www.naftogaz.net). Le chiffre d'affaire de cette société a été, pour 2005, de 9,3 milliards de $, avec un profit de 1,4 milliards. Elle a représenté 1/7 du PIB total ukrainien et a apporté 2,25 milliards de $ au budget de l'Etat. Les filiales sont SC Ukrgasproduction, OJSC Ukrnafta, et SJSC Chornomornaftogaz.

II. La production de gaz en Ukraine

La production de gaz ukrainien a diminué sur une longue période, avant de se stabiliser à 18 milliards de m3 par an en 1997-2000. Pendant les quatre dernières années, la production a augmenté, jusqu'à 20,1 milliards de m3.

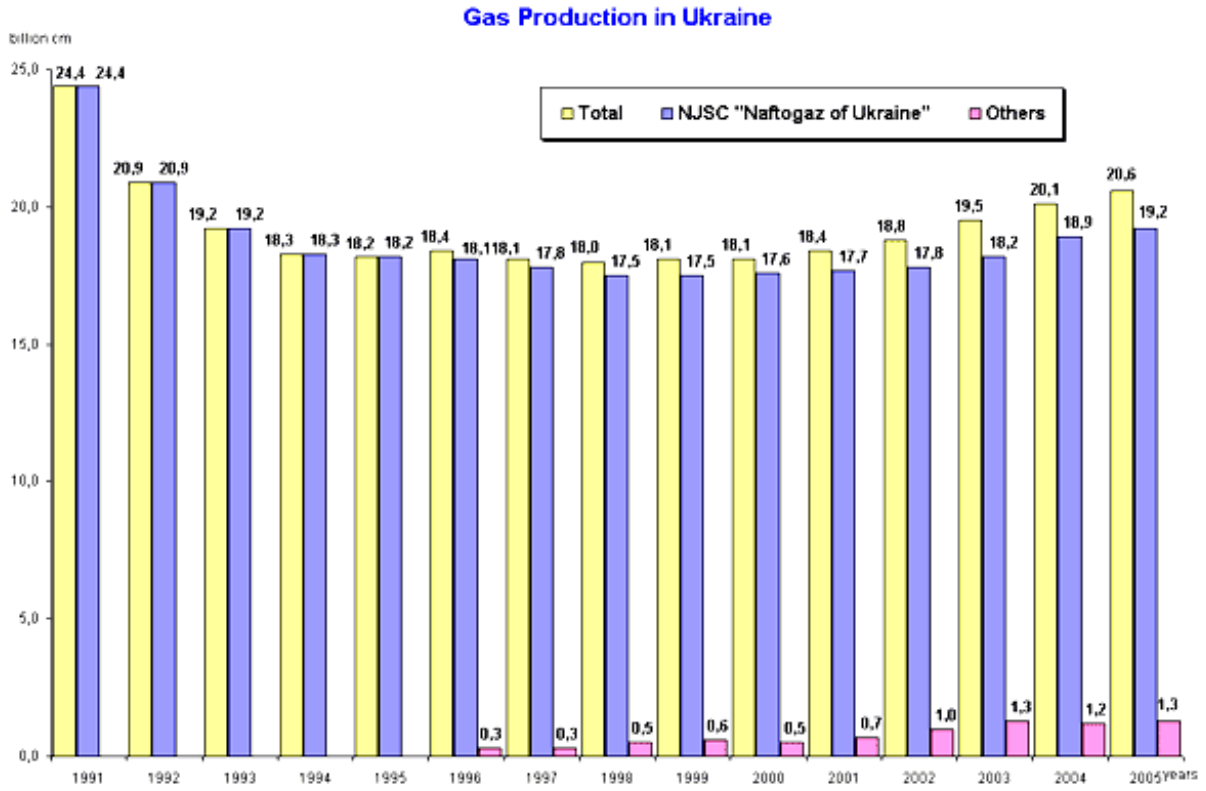


Table 2 : la production de gaz en Ukraine

III. Le transport du gaz en Ukraine

Le réseau de transport de gaz en Ukraine (Gas transmission system, GTS) est réalisé par Naftogaz et est relié avec les réseaux de Russie, Belarus, Pologne, Slovaquie, Hongrie, Roumanie, Moldavie. Il est intégré, avec ces systèmes, au réseau européen. Le réseau ukrainien, du fait de sa position géographique, est une sorte de "pont" entre les productions de Russie et d'Asie Centrale et les consommateurs européens.

Il entre 290 milliards de m3 dans le GTS, et 142,5 milliards sont à destination de l'Europe de l'Ouest et de l'Europe Centrale. Plus de 80 % du gaz russe à destination de l'Europe passe par l'Ukraine.

Environ 75 milliards de m3 sont à destination des consommateurs ukrainiens.

Le prix du transit du gaz russe par l'Ukraine est de 1,6 $ pour 1000 m3 et pour 100 km.

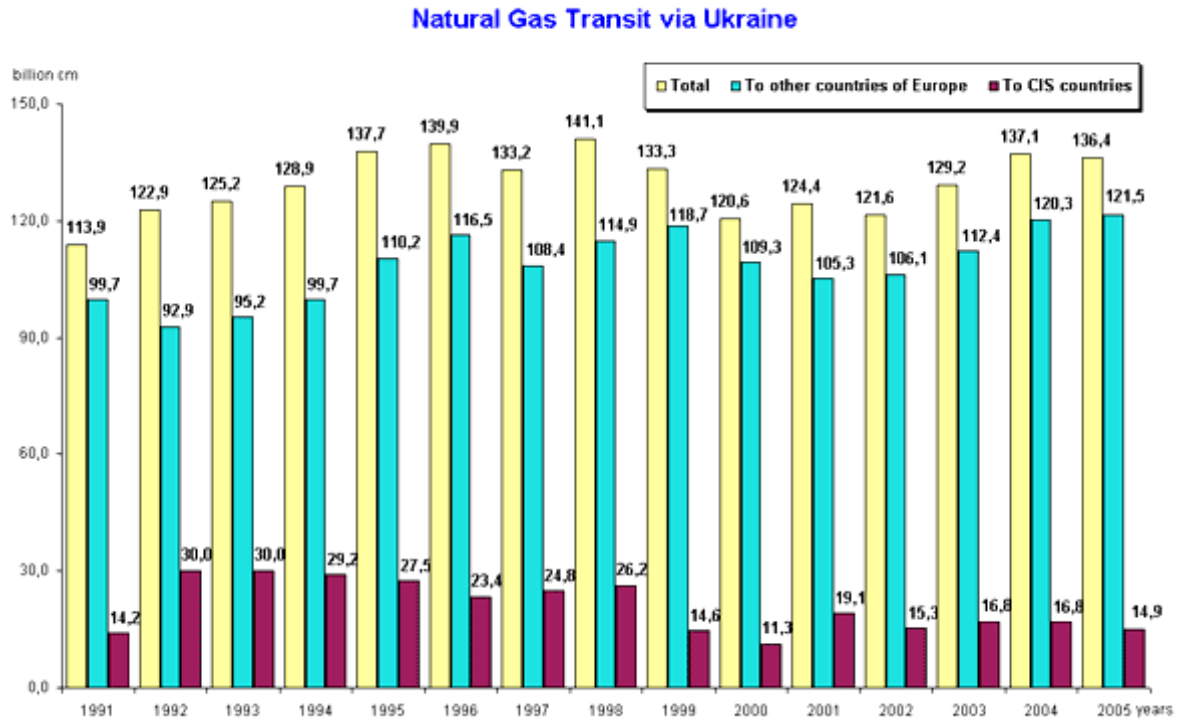


Table 3 : transit du gaz ukrainien

IV. La consommation de gaz en Ukraine

Le gaz naturel est la source principale d'énergie en Ukraine, avec un total de 41 à 43 % de la balance énergétique du pays.

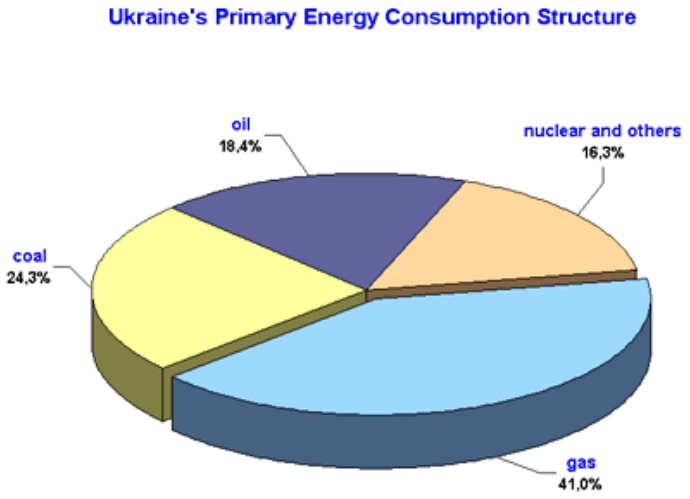


Table 4 : répartition des sources d'énergie en Ukraine

L'Ukraine couvre seulement 24 à 27 % de ses besoins en gaz naturel, et 10 à 12 % de ses besoins en pétrole. Elle est considérée comme un pays avec peu de ressources énergétiques naturelles.

A l'inverse, avec une consommation de gaz établie à 118,1 milliards de m3 en 1991, l'Ukraine était le troisième pays au monde, par importance de la consommation, derrière les USA et la Russie seulement. L'utilisation du gaz naturel s'est réduite en dix ans, et était de 75,8 milliards de m3 en 2004.

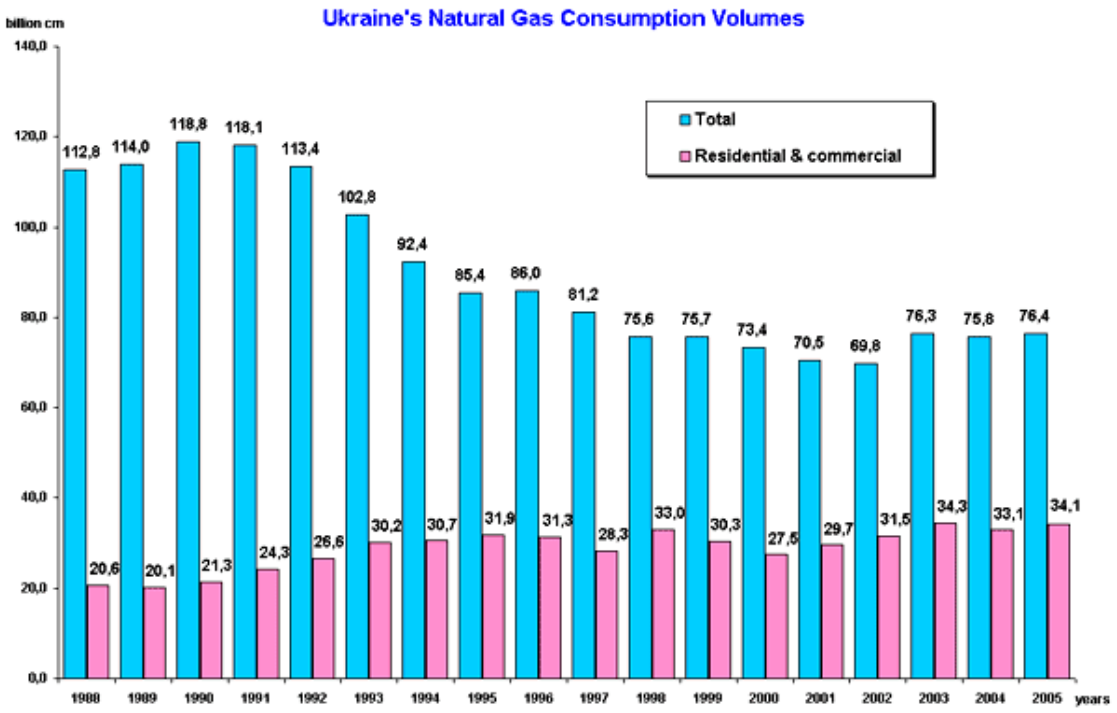


Table 5 : consommation du gaz en Ukraine

Les principales importations proviennent du Turkmenistan, de l'Uzbekistan et de la Russie.

V. Le prix du gaz en Ukraine

En juin 2006, l'Ukraine a reçu environ 5,2 milliards de m3 de gaz importé au prix de 95 $ pour 1000 m3. Pour 2006, un accord a été signé avec la Russie pour une fourniture de 40 milliards de m3 au prix de 95 $ pour 1000 m3. Mais la Russie a décrété une augmentation du prix, aux environs de 220-230 $ pour 1000 m3.

L'Ukraine était prête à acheter le gaz au Turkménistan, au prix de 65 $ les 1000 m3, mais ce pays a décrété une augmentation : près de100 $ les 1000 m3. Si l'Ukraine accepte ces conditions, cela se traduira par une augmentation des prix domestiques de 20-30 $ les 1000 m3.

Dans la table qui suit, on trouve l'évolution du prix du gaz en Ukraine pour les particuliers :

Année	2004	2005	2006 Janvier	2006 Mars	2006 Avril	2006 Mai	2006 Juin	2006 Juillet
Prix de 1000 m3 de gaz (Euros)	27,6	27,6	27.6	27,6	27,6	34,7	34,7	64,3

Table 6 : évolution du prix du gaz en Ukraine pour les particuliers

On constate que les prix ont beaucoup changé au cours du passé récent. Ceci confirme l'instabilité de la situation en ce qui concerne le gaz en Ukraine.

En retour, l'Ukraine menace d'augmenter le prix de la location, que paye la Russie, pour ses navires dans les ports de la Mer Noire.

VI. Prix de vente du gaz russe pour d'autres pays

Beaucoup d'autres pays ont vu le prix du gaz, vendu par la Russie, augmenter notablement ; cela concerne aussi la Géorgie, la Moldavie, l'Arménie, etc.

	prix 2005	prix 2006
Baltic	85-95	120-125
Moldavia	80	160
Transcaucasia	56-68	110
Ukraine	50	230
Belarus	47	47

Table 3 : comparaison de prix pour 1000 m3, en USD, du gaz en provenance de Russie

VII. La dette ukrainienne

Ce pays a une dette très importante vis à vis de la Russie et du Turkménistan :

A. Dettes de l'Ukraine, pour le gaz, vis à vis de Gazprom (Russie)

Voici un relevé des principales dettes, par region d'Ukraine. La monnaie ukrainienne est le "Hrivna" (en abrégé UAH) ; 1 Euro = environ 6,33 UAH.

Région d'Ukraine	dette en millions d'UAH	dette en millions d'Euros
Donetsk	409,99	64,78
Dnepropetrovsk	351,1	55,47
Lugansk	231	36,5
Zaporozhye	44,5	7

Table 7 : relevé des dettes des principales régions d'Ukraine vis-à-vis de Gazprom

Le total des dettes de l'Ukraine vis-à-vis de Gazprom dépasse deux milliards d'UAH, soit 331 millions d'Euros.

B. Dettes de l'Ukraine, pour le gaz, vis-à-vis du Turkménistan

Au 17 février 2006 :

- La dette de l'Ukraine vis-à-vis du Turkménistan, dont la date de remboursement est déjà dépassée, est de 77,35 millions USD.

- Une somme de 106 millions USD est à verser dans les prochains mois, selon les traités signés.

Gazprom insiste sur le fait que les autres pays payent régulièrement leurs livraisons de gaz ; seule l'Ukraine pose problème : la Moldavie paye 100 % de son gaz (au prix de $ 110 pour 1000 m3). La Belarus paye son gaz et rembourse ses dettes anciennes.

"La situation la plus difficile est prévue pour octobre-décembre 2006", à cause d'une importation insuffisante de gaz, dit une source du Département de l'Energie en Ukraine.

VII. Les vols

"L'Ukraine a volé plus de 100 millions de m3 de gaz depuis le 1er janvier 2006, et ceci représente plus de $ 25 millions" – a déclaré Aleksandre Medvedev, Vice-président de Gazprom en Russie. Il veut dire par là que les pays européens n'ont pas complètement reçu le gaz venant par le pipeline ukrainien.

Nous avons trouvé trois références pour ces vols :

1) «Kharkovtransgas» une filiale de “Ukrtransgaz”, elle-même une filiale de “Neftogaz”. Les compagnies “Dneprogazresurs” et «Kharkovtransgas» ont conclu un accord de coopération. Pendant la période 2001-2005, près de 70 % du gaz extrait du gisement "Proletarian" par ces compagnies ont été prélevés par la seule compagnie “Dneprogazresurs”, et non par “Naftogaz”. Ceci correspond à environ 25 millions UAH (3,9 millions EUR).

2) Pendant la période 2005-2006, dans la région de Ternopol, le président d'une compagnie de gaz a détourné de manière indue 3,1 millions de m3 de gaz, pour un montant d'environ 135 000 UAH (21 327 Euros).

3) Depuis le 17 janvier 2006, l'Italie n'a pas reçu son quota normal de gaz en provenance de Russie. Les experts considèrent que la différence provient de détournements opérés sur le pipeline ukrainien.

Par exemple, pour le 25 février 2006, l'Italie aurait dû recevoir 74 millions m3, mais n'a reçu que 69,5 millions m3. Le rapport officiel de la compagnie italienne ENI note un manque de 12 millions de m3 par jour, du 9 au 15 février 2006.

On observe des détournements également en Pologne. Dans la ville de Kalish, un fermier a détourné environ 1 million de m3 pendant l'année 2005, pour le chauffage de ses serres.

Chapitre III

La Russie et Gazprom

I. Les ressources en gaz

La compagnie Gazprom (*www.gazprom.ru*) a plus de gaz que n'importe quelle autre compagnie au monde : elle dispose d'environ 17 % des réserves mondiales avérées, et 60 % des réserves russes. Les réserves d'hydrocarbures de Gazprom sont actuellement estimées à 138,6 milliards de $.

Région	Volume milliards m3
Russie	47 700
Amérique du Nord	7 446
Amérique du Sud	7 090
Europe	6 635
Afrique	13 487
Moyen Orient	71 376
Asie et Pacifique	17 442

Table 1 : réserves de gaz avérées, 2005

II. La production de gaz

Gazprom a produit 547,9 milliards de m3 de gaz en 2005, en augmentation de 2,8 milliards par rapport à 2004. Voici un tableau de la production de Gazprom au cours de ces dernières années :

Année	Production (milliards m3)
2000	523,2
2001	512,0
2002	512,9
2003	540,2
2004	545,1
2005	547,9

Table 2 : la production de gaz par Gazprom pendant les dernières années

Gazprom prévoit d'augmenter sa production de gaz à 550-560 milliards de m3 en 2010, à 580-590 milliards en 2020 et à 610-630 milliards en 2030.

III. Le transport du gaz

Le prix du transport du gaz par Gazprom est, depuis le 1er octobre 2005, de 23,87 roubles (soit 0,698 Euros, sur la base de 1 EUR = 34.17 RUR), pour 1000 m3 sur 100 km.

Ce prix ne suffit pas à couvrir les coûts induits par la maintenance du système : réparation des pipelines, des réservoirs, etc. On considère que le prix du transit devrait augmenter d'au moins 25 % pour que le système de transport fasse un profit.

Les dépôts souterrains de gaz (Underground Gas Depots, UGD) font partie du réseau russe de transport du gaz. Il y a 24 UGD en Fédération de Russie. Avant la saison froide 2005 – 2006, 62,6 milliards de m3 de gaz ont été pompés dans ces UGD. Gazprom exploite aussi des UGD en Ukraine, Lituanie, Allemagne et Autriche. La compagnie construit aussi des réservoirs en Belgique et en Autriche.

IV. La distribution

A. En Russie

En 2005, Gazprom et ses filiales ont apporté 307 milliards de m3 de gaz aux consommateurs.

Les prix sont fixés par le Service des Tarifs Fédéraux chaque année. Il y a différents prix, pour des "régions de prix" différentes. Il y avait 7 régions jusqu'en 2005 ; il y en a maintenant 13 depuis le 1er janvier 2006.

En 2005, les tarifs de gros du gaz ont été augmentés en moyenne de 23 %, avec un prix HT de RUR 1014,1 (EUR 29,7) pour 1000 m3.

En Russie, le gaz est l'énergie la moins chère. De ce fait, c'est l'énergie la plus utilisée. La consommation de charbon, pétrole, et autres énergies, décroît, et les industries qui les produisent stagnent.

Des prix trop bas pour le gaz sont mauvais pour l'industrie du gaz elle-même : les producteurs sont obligés de vendre, sur le marché domestique, à un prix inférieur au prix de revient. De ce fait, Gazprom donne des subventions effectives à un nombre très important de compagnies privées. Les prix bas sont un frein aux investissements : construction de pipelines, réservoirs, etc. et ceci freine le progrès de cette industrie.

Les prix actuels du gaz en Russie ne couvrent pas la production, le transport et la vente. C'est la raison pour laquelle la stratégie industrielle russe appelle une augmentation de 2 à 2,5 fois pour 2010, par rapport aux prix de 2003, en premier lieu pour les consommateurs industriels.

B. En Europe

Gazprom exporte du gaz en Europe de l'Ouest et en Europe Centrale, principalement au travers d'accord à long terme (25 ans), dérivant d'accords intergouvernementaux. Ces accords prévoient souvent un paiement minimal, même si la consommation est insuffisante.

Les pays concernés sont : l'Allemagne, la France, l'Italie, la Turquie, la Hongrie, la République Tchèque, la République Slovaque, la Pologne, l'Autriche, la Finlande, la Belgique, la Roumanie, la Serbie et le Monténégro, la Slovénie, la Croatie, la Grèce, la Suisse, le Danemark, la Bosnie, la Macédoine et la Grande Bretagne.

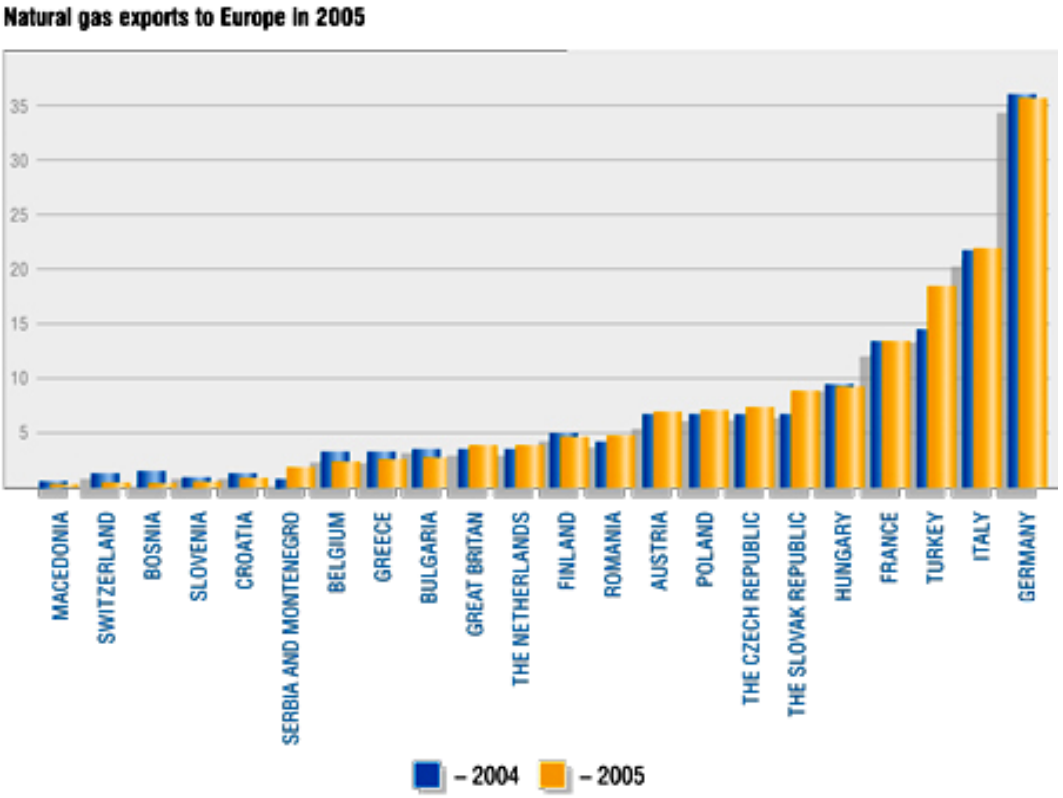


Table 3 : exportations par pays

En 2005, Gazprom a exporté 156,1 milliards de m3 de gaz russe en Europe. L'Europe de l'Ouest est le principal marché d'exportation pour Gazprom, qui livre environ un tiers des besoins totaux de l'Europe de l'Ouest. Les importateurs principaux sont l'Allemagne, l'Italie, la Turquie et la France.

Les principaux pipelines, provenant de Sibérie et à destination d'Europe, traversent l'Ukraine. Gazprom a des projets très importants de diversification des exportations russes.

Le pipeline Yamal-Europe, en cours de construction, va relier les champs de Yamal à l'Europe occidentale. Environ 17 % du gaz russe, à destination de la Pologne et de l'Allemagne, passe déjà par le pipeline Yamal-Europe, via la Belarus.

Le projet "Blue Stream", lancé fin 2002, apporte du gaz directement à la Turquie, en passant par la Mer Noire. Il a 1276 km de long, dont 373 en Russie, 395 sous la mer, 508

km en Turquie. Il transporte 16 milliards de m3 par an. La Russie prévoit d'exporter 311 milliards de m3 par ce pipeline avant 2025.

Les pipelines existants, entre la Russie et l'Europe, ne suffiront pas à assurer la croissance attendue de la consommation. Pour résoudre ce problème et améliorer la sécurité, le développement du projet "North European gas pipeline" (NEGP) a commencé il y a quelques années. Il s'agit d'une route nouvelle, via la Baltique (voir carte), ce qui réduira les risques liés au transit par les différents Etats. On construira deux pipelines parallèles, de 1200 km de long. La capacité totale annuelle sera de 55 milliards de m3. Le pipeline desservira aussi la Suède.

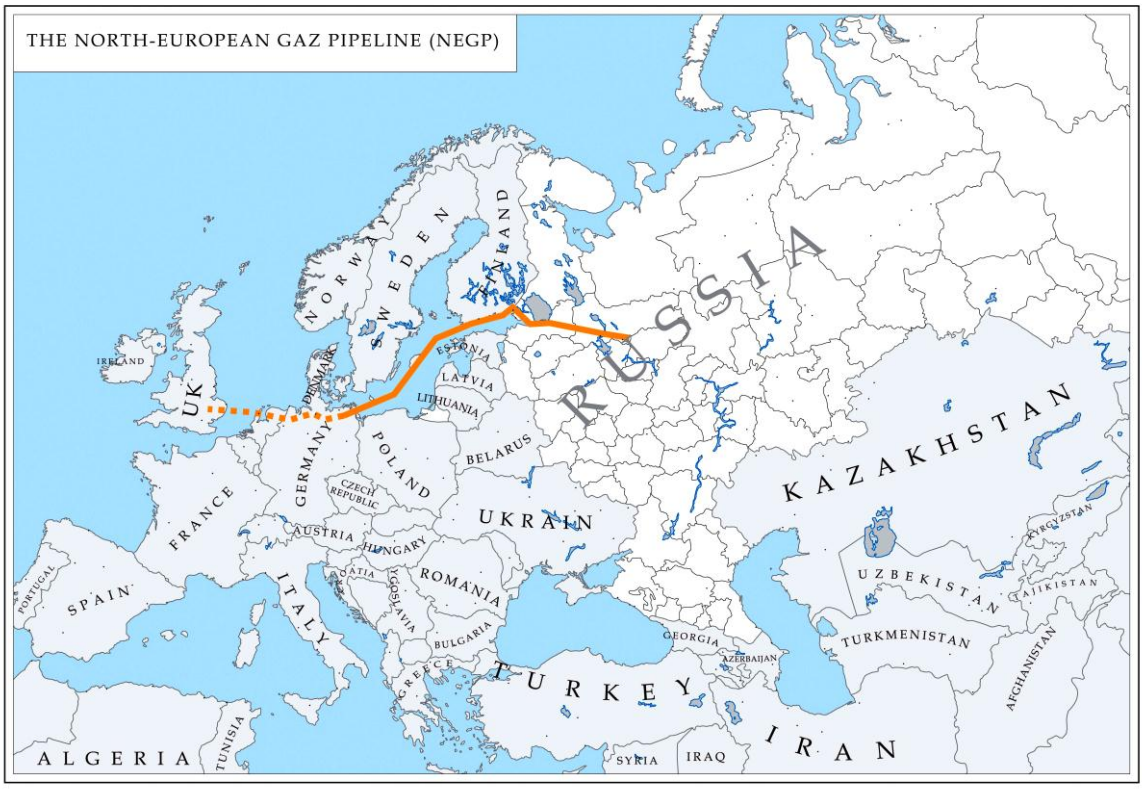


Table 4 : le projet de pipeline sous la Baltique

Les partenaires internationaux de Gazprom sont :

Numéro	Pays	Compagnie
1	Allemagne	E.ON; Wintershall AG; Verbundnetz Gas and Siemens AG
2	France	Gaz de France and TotalFinaElf
3	Italie	Eni
4	Turquie	Botas
5	Finlande	Fortum
6	Pays Bas	Gasunie
7	Norvège	Hydro and Statoil
8	Chine	CNPC and PetroChina
9	Pologne	PGNiG
10	US	ExxonMobil; ChevronTexaco, ConocoPhillips
11	transnational	Royal Dutch Shell

Table 5 : les partenaires de Gazprom

En 2005, Gazprom a gagné plus de 619,1 milliards de roubles (18,1 milliards d'Euros), hors TVA, pour les exportations de gaz à des pays étrangers, hors républiques de l'ancienne Union Soviétique.

C. Communauté des Etats Indépendants et Etats Baltes

En 2005, Gazprom a exporté 76,6 milliards de m3 de gaz aux pays de l'ancienne Union Soviétique. Les principaux clients ont été l'Ukraine, la Belarus, la Moldavie, le Kazakhstan et les pays Baltes.

Pays	Exportations (milliards m3)
Ukraine	37,6
Belarus	19,8
Kazakhstan	4,0
Azerbaijan	3,8
Moldova	2,8
Lithuania	2,8
Armenia	1,7
Latvia	1,4
Georgia	1,4
Estonia	1,3
Total:	76,6

Table 6 : exportations de Gazprom en 2005, à destination de l'ancienne Union Soviétique et des Pays Baltes.

V. Le prix du gaz

(en dollars pour 1000 m3)

Prix du gaz pour l'Europe (en bleu), pour la CIS (en jaune).

VI. Exportations

Moldavie

La collaboration entre la Moldavie et la Russie consiste maintenant en contrats à court terme (trois mois). Le prix de fourniture par Gazprom est de 110 $ par 1000 m3, première moitié de 2006.

Belarus

Pour la Belarus en 2006, Gazprom fait les meilleures conditions de toute la CIS ($ 46.68 pour 1000 m3)

Armenia, Georgia, Azerbaïdjan

Comme pour la Moldavie ($ 110 for 1000 m3)

Importations

en provenance du Turkménistan, Ouzbékistan, Kazakhstan.

Depuis 2006, pour Gazprom, le prix du gaz en provenance du Turkménistan et de l'Ouzbékistan est passé de 44 USD pour 1000 m3 à 65 USD.

Table des matières

Remerciements 2

Résumé opérationnel et recommandations 3
I. L'approche probabiliste en général 3
II. Notre méthodologie 5
III. Interprétation des résultats 6
IV. Organisation du présent travail 8

Première Partie : Analyse scientifique 9

Chapitre I : La consommation de gaz en fonction de la température 10
I. Analyse des données disponibles 10
II. Impossibilité d'une approche déterministe 10
III. Méthode probabiliste 14

Chapitre II : Les importations en fonction de la température 17
I. Difficultés méthodologiques 17
II. Importations en fonction de la température 18

Chapitre III : La température selon le jour de l'année 24
I. Présentation générale 24

Chapitre IV : La consommation et les importations par jour 27
I. Construction des lois journalières 27
II. Résultats 28

Chapitre V : Les stocks 35
I. Comment déterminer les stocks ? 35
II. Loi de probabilité des stocks 36

Chapitre VI : Analyse des résultats 41
I. Les remèdes possibles 41
A. Effacement jours de pointe 41
B. Accroissement de la taille des stocks 41
C. Accroissement du nombre des fournisseurs 41
D. Accroissement uniforme des livraisons provenant des fournisseurs actuels 41
II. Analyse de chaque remède du point de vue des données 42
A. Effacement jours de pointe 42
B. Accroissement de la taille des stocks 44
C. Fiabilité des fournisseurs 45
D. Accroissement uniforme 47

Chapitre VII : Analyse des données récentes 48
I. Importations versus consommations 48
II. Evolution annuelle des stocks 49

Seconde Partie : Analyse sociale....52

Chapitre I : Présentation générale....53

Chapitre II : l'Ukraine....54
I. La consommation ukrainienne de gaz....54
II. La production de gaz en Ukraine....54
III. Le transport du gaz en Ukraine....55
IV. La consommation de gaz en Ukraine....56
V. Le prix du gaz en Ukraine....57
VI. Prix de vente du gaz russe pour d'autres pays....58
VII. La dette ukrainienne....58
A. Dettes de l'Ukraine, pour le gaz, vis à vis de Gazprom (Russie)....58
B. Dettes de l'Ukraine, pour le gaz, vis-à-vis du Turkménistan....59
VII. Les vols....59

Chapitre III : La Russie et Gazprom....60
I. Les ressources en gaz....60
II. La production de gaz....60
III. Le transport du gaz....61
IV. La distribution....61
A. En Russie....61
B. En Europe....62
C. Communauté des Etats Indépendants et Etats Baltes....64
V. Le prix du gaz....65
VI. Exportations....65

Table des matières....66