

Contre-expertise de l'évaluation socio-économique du projet d'augmentation de puissance du supercalculateur de Météo-France



15 décembre 2016

Michel Jarraud
Emile Quinet

Préambule

Le Commissariat général à l'investissement (CGI) a mené depuis septembre 2012 et à la demande du Premier ministre une réflexion sur les projets d'investissement public et leur évaluation. La démarche conduite dans le cas des infrastructures de transport sous le régime de l'instruction-cadre de 2005 a d'ailleurs servi de référence dans cette réflexion qui avait une vocation plus large que le secteur des transports.

Entre temps, l'article 17 de la loi de programmation des finances publiques du 31 décembre 2012¹ est venu instaurer l'obligation d'évaluation socio-économique des projets d'investissements (sans seuil), et sa contre-expertise indépendante et préalable au-delà d'un certain niveau de financement public. Son décret d'application, le décret 2013-1211 relatif à la procédure d'évaluation des investissements publics précise en particulier le cahier des charges du dossier d'évaluation socio-économique à constituer, le seuil au-delà duquel la contre-expertise est obligatoire, et les modalités de son organisation.

C'est en respectant toutes les règles prévues dans ce décret d'application (compétences, déclaration d'intérêt, délais) que le CGI a fait réaliser cette contre-expertise indépendante du projet d'augmentation de puissance du supercalculateur de Météo-France.

Ce rapport a été établi à partir des documents fournis par Météo-France, des réponses apportées aux questions des experts, et de plusieurs auditions.

Les auteurs tiennent à remercier Météo-France pour sa collaboration tout au long de la contre-expertise et à la féliciter pour la qualité et le professionnalisme du projet présenté. Ils remercient également le CGI et tout particulièrement Mesdames Sylviane Gastaldo et Géraldine Ducos du CGI pour leur support précieux.

¹ La loi n°2012-1558 du 31 décembre 2012 de programmation des finances publiques pour les années 2012 à 2017 dispose dans son article 17 que :

« Les projets d'investissements civils financés par l'Etat, ses établissements publics, les établissements publics de santé ou les structures de coopération sanitaire font l'objet d'une évaluation socio-économique préalable.

Lorsque le montant total du projet et la part de financement apportée par ces personnes excèdent des seuils fixés par décret, cette évaluation est soumise à une contre-expertise indépendante préalable.

Le Gouvernement transmet au Parlement les évaluations et les contre-expertises mentionnées au premier alinéa.

Les conditions d'application du présent article sont prévues par décret. »

Sommaire

Table des figures	5
Table des tableaux	5
1. Contexte général et enjeux	6
1.1. Importance stratégique de la prévision du temps.....	6
1.2. Variabilité et changement climatiques	7
1.3. Bénéfices socio-économiques actuels et potentiels.....	7
2. Le projet contre-expertisé	9
2.1. Les supercalculateurs	9
2.2. Les options analysées	10
2.2.1. L'option de référence.....	10
2.2.2. Option 1 : budget de 101,5 millions d'€.....	10
2.2.3. Option 2 : budget de 179,2 millions d'€.....	11
2.2.4. Option 3 : budget de 355,2 millions d'€.....	11
2.2.5. Options écartées	11
2.2.6. Notre avis sur les éléments de chiffrage budgétaire.....	12
3. Impacts techniques et performance opérationnelle des options envisagées	13
3.1. Option de référence	13
3.2. Option 1 : multiplication de la puissance calcul par 2,5.....	13
3.3. Option 2 : multiplication de la puissance calcul par 5.....	13
3.4. Option 3 : multiplication de la puissance calcul par 10.....	14
3.4. Considérations générales	14
4. Impacts socio-économiques des options envisagées	17
4.1. Energie	18
4.2. Transport aérien	20
4.3. Agriculture.....	20
4.4. Grand Public, sécurité des personnes et des biens en métropole	21
4.5. Grand Public, sécurité des personnes et des biens en Outre-mer	22
4.6. Les acteurs de la Météorologie	22
4.7. Concepteur/fournisseur du supercalculateur.....	22
4.8. Bénéfices socio-économiques en matière d'adaptation au changement climatique	22
4.9. Effets au-delà de 2024	24
4.10 Indicateurs retenus et tableau final	25
7. Conclusions et recommandations	26

Table des figures

Figure 1 : Energy operations aided by reductions in environmental forecast uncertainty ... 19

Table des tableaux

Tableau 1 : Budget de l'option 1	10
Tableau 2 : Budget de l'option 2	11
Tableau 3 : Budget de l'option 3	11
Tableau 4 : Progrès anticipés par Météo-France.....	15
Tableau 5 : Effets du supercalculateur sur l'économie.....	17
Tableau 6 : Quantification et évaluation qualitative des bénéfices du supercalculateur	25

1. Contexte général et enjeux²

Dans un monde confronté aux défis du changement climatique, de la multiplication des phénomènes hydrométéorologiques extrêmes et plus généralement de la sensibilité croissante de l'économie et des activités humaines aux conditions météorologiques et climatiques, la prévision du temps à court et moyen terme (recouvrant, selon la terminologie traditionnelle les prévisions jusqu'à environ 2 semaines), à plus long terme (mensuelles et saisonnières), ainsi que les projections climatiques (allant de l'année à quelques siècles) jouent et joueront un rôle de plus en plus important. Ainsi, des services rendus par Météo-France, dépendent des décisions multiples et essentielles, qu'elles soient individuelles ou collectives, susceptibles de produire, à court, moyen et long terme, des bénéfices ou d'éviter des coûts socio-économiques et financiers substantiels et de contribuer aux enjeux d'un développement durable.

1.1. Importance stratégique de la prévision du temps

La qualité du service attendu par les bénéficiaires de Météo-France en matière de prévision (c'est à dire des prévisions pertinentes, avec suffisamment d'anticipation, de précision sur la localisation et l'intensité des phénomènes prévus) requiert des moyens importants. Toutefois, l'utilité de ces prévisions ne se matérialise que si elles s'insèrent dans un processus efficace de prise de décision. Ce point est particulièrement critique dans le cadre des missions de sécurité des personnes et des biens. Pour ce faire, Météo-France a notamment la responsabilité de produire et de diffuser la carte de vigilance météorologique, pour annoncer d'éventuels dangers météorologiques prévus dans les 24 heures à l'échelle du département. Elle est destinée au public et aux autorités responsables de la chaîne d'alerte, des mesures de sauvegarde et de la mobilisation des secours.

Météo-France fournit également un appui à la Défense. La météorologie est en effet souvent décrite comme l'ultime feu vert ou feu rouge à l'intervention des forces armées sur les théâtres d'opération.

L'appui à la navigation aérienne constitue une autre mission institutionnelle de Météo-France. L'accroissement du trafic aérien, la ponctualité du trafic et la sécurité des vols dépendent pour une large part des conditions météorologiques. Météo-France est ainsi prestataire de services pour la navigation aérienne, régie par les règlements du Ciel Unique Européen (CUE).

De manière plus générale, Météo-France fournit des services aux secteurs économiques sensibles aux conditions météorologiques, en particulier les secteurs de l'agriculture, de l'énergie, des transports, de la santé, du BTP, de la gestion de l'eau, de la grande distribution, des assurances, des médias, du tourisme, du sport... Un certain nombre de ces prestations sur mesure pour des clients variés génèrent des revenus commerciaux, qui ne sont pas fondés sur les bénéfices apportés à ces clients, mais sur le coût de leur fourniture par Météo-France.

² Cette partie reprend en grande partie l'analyse faite par Météo-France, mais il est important de souligner qu'elle est totalement cohérente avec les analyses faites au niveau international sous l'égide de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM)

Météo-France met également ses données brutes de prévision numérique du temps ainsi que les résultats de ses simulations climatiques en libre disposition sur des portails dédiés, en conformité avec la politique volontariste de l'État en matière d'open data. Cela vise à encourager la valorisation de ces données par le plus grand nombre d'acteurs (privés ou publics).

Ces points expliquent par ailleurs que les bénéfices associés ne sont pas captés uniquement par Météo-France mais par la collectivité.

Météo-France participe enfin à d'importants efforts de coopération scientifique et opérationnelle à l'échelle européenne sur la prévision numérique du temps. Elle apporte notamment une contribution décisive au CEPMMT (Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme), dont la France fait partie depuis sa création en 1975. La mission de ce Centre est de fournir des prévisions à moyenne échéance (de 4 jours à un mois environ, en complémentarité des échéances sur lesquelles Météo-France met l'accent) et il est le leader mondial dans ce domaine. Météo-France a avec le CEPMMT un niveau de coopération sur le logiciel extrêmement poussé, réduisant ainsi les coûts associés. En termes de qualité des prévisions numériques du temps, on peut considérer que Météo-France est l'un des 4 leaders mondiaux dans ce domaine, comme confirmé par les inter-comparaisons faites sous l'égide de l'OMM.

1.2. Variabilité et changement climatiques

Au-delà des prévisions météorologiques, la variabilité et le changement climatiques soulèvent des questions cruciales qui nécessitent de disposer d'expertise et d'information adaptée aux prises de décisions, en termes de scénarios climatiques, d'appui aux politiques d'atténuation et d'adaptation, mais aussi de manière générale en soutien de tous les secteurs sensibles à la variabilité climatique. C'est une priorité internationale, comme on l'a vu lors de l'accord de Paris de 2015 sur le climat, mais c'est également, bien entendu, une priorité nationale. Comme pour la prévision numérique du temps, Météo-France est, et a vocation de rester, un acteur international majeur dans ce domaine.

Dans le domaine du climat, Météo-France est un des acteurs majeurs en France mais également au plan européen et même mondial. Son action porte à la fois sur la caractérisation de l'évolution climatique en cours, la simulation du climat futur en fonction de scénarios socio-économiques faisant référence au plan international et l'analyse de certains impacts du changement climatique.

Avec un certain nombre de partenaires français, Météo-France réalise des simulations dans le cadre du PMRC (Programme Mondial de Recherche sur le Climat coparrainé par l'OMM, l'UNESCO et l'International Council for Science-ICSU) et du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Météo-France participe également au programme européen Copernicus, en particulier dans le contexte de l'amélioration de la prévision saisonnière, à mi-chemin entre la prévision météorologique et la projection climatique.

1.3. Bénéfices socio-économiques actuels et potentiels

Les bénéfices des services météorologiques sont considérables, sur les plans sociaux, économiques et environnementaux, comme confirmé par un certain nombre d'études internationales. Grâce aux activités de Météo-France, la France est sans aucun doute l'un des pays leaders dans ce domaine, tant sur le plan scientifique que sur le plan opérationnel.

Il s'agit néanmoins d'une situation fragile en raison de l'évolution très rapide du contexte. Les progrès scientifiques depuis une trentaine d'années ont été spectaculaires et la France y a contribué de manière significative grâce à l'excellence de sa formation scientifique, en particulier dans le domaine de la prévision numérique du temps et de l'observation satellitaire, ainsi que grâce aux moyens informatiques dont a disposé l'établissement. L'évolution exponentielle de la puissance de calcul a joué un rôle décisif, mais compte tenu de l'évolution technologique très rapide, cela impose des renouvellements fréquents des infrastructures informatiques, y compris pour les supercalculateurs, sous peine de ne plus faire partie du groupe des leaders.

Les besoins exprimés par les utilisateurs sont énormes et le potentiel de progrès reste considérable en raison des avancées scientifiques et du développement des systèmes d'observations, en particulier satellitaires, mais la puissance de calcul reste un facteur limitant, tant pour la prévision numérique du temps que pour les projections climatiques et le soutien aux futurs développements scientifiques.

La question est donc de savoir si des investissements dans un nouveau supercalculateur, et à quel niveau, sont justifiés en rapport des bénéfices sociaux économiques attendus. C'est l'objet du projet de Météo-France soumis à cette expertise.

2. Le projet contre-expertisé

Pour notre analyse et nos commentaires, nous reprendrons la structure du rapport de Météo-France.

2.1. Les supercalculateurs

Cette partie décrit l'évolution des supercalculateurs à Météo-France depuis les années 1990, ainsi que les différentes applications qui fonctionnent sur le calculateur actuel.

La description faite n'appelle pas de remarque particulière de notre part.

Le calculateur actuel de Météo-France a une puissance de crête de 5 pétaflops, c'est-à-dire qu'il peut effectuer 5 millions de milliards d'opérations simples chaque seconde. Malgré ces chiffres vertigineux, cela n'est plus suffisant pour mettre en œuvre et tirer tous les bénéfices des derniers progrès scientifiques. Historiquement, depuis une trentaine d'années, la puissance a évolué en suivant la Loi de Moore, c'est-à-dire qu'il était possible de disposer à coût pratiquement constant d'une puissance qui doublait environ tous les 18 mois. Mais nous sommes à un tournant : en raison de limites physiques fondamentales liées à la taille des atomes, cette progression se ralentit. Les progrès à venir seront plutôt dus à une multiplication du nombre de processeurs et donc, malheureusement, à une augmentation des coûts directs (achat et/ou leasing) et indirects (électricité par exemple), ainsi qu'à des progrès algorithmiques qui permettront d'exploiter de manière plus efficace ces nouvelles architectures.

Les logiciels qui fonctionnent sur le supercalculateur sont limités par la puissance de celui-ci et les progrès liés à une augmentation de puissance peuvent être regroupés en 3 grandes catégories :

- Amélioration de la résolution, c'est-à-dire de la finesse spatiale des phénomènes décrits par les modèles de prévision ou les modèles climatiques. Pour la prévision météo, 2 grands types de modèles sont utilisés : un modèle couvrant l'ensemble de la planète (ARPEGE) et une série de modèles à résolution plus fine sur des domaines limités, sur la France et l'Outre-mer en particulier (AROME). L'augmentation de la puissance de calcul permet aussi d'envisager d'augmenter les échéances de prévisions, par exemple pour augmenter les délais de préavis pour les alertes, ou pour développer des prévisions à plus longues échéances. Cela permet en outre de développer des simulations climatiques à échelle régionales, donc mieux adaptées à la prise de décision.
- Amélioration de la manière dont les observations d'origine et de nature variées (in situ, satellitaires, radars, aéronefs...) sont prises en compte afin de créer un état initial pour les prévisions. Il s'agit de la phase d' "assimilation".

- Développement des prévisions ou des simulations d'"ensemble" : en raison de la nature chaotique de l'atmosphère, de petites différences sur l'état initial ont tendance à croître dans les prévisions et à contribuer à une perte rapide de leur qualité. Un moyen de contourner en partie cette limitation consiste à remplacer les prévisions traditionnelles dites "déterministes" basées sur la meilleure estimation possible des conditions initiales, par une série de prévisions basées sur des conditions initiales très légèrement différentes (les différences étant liées à l'incertitude due aux observations), ce qui permet d'en déduire des probabilités pour les différents scénarios prévus. C'est ce que l'on appelle les "prévisions d'ensemble".

Le projet de Météo-France analyse 3 options correspondant à 3 augmentations possibles de la puissance de calcul et décrit les poids relatifs accordés aux catégories ci-dessus dans chacune des options.

2.2. Les options analysées

Notons tout d'abord que sauf pour l'option de référence, les 3 options comportent 2 phases de 3 ans afin d'avoir une augmentation plus régulière de la puissance de calcul, permettant une meilleure adéquation entre les développements et leur mise en œuvre. Cela permet en particulier soit une machine surdimensionnée en début de contrat, et donc sous-utilisée soit une machine totalement saturée dès la mi-contrat.

Nous partageons cette analyse.

Par ailleurs, Météo-France (M-F) propose une approche achat plutôt qu'infogérance.

Au vu des clarifications apportées à nos questions, il semble que ce point ne soit pas critique pour l'analyse des bénéfices socio-économiques.

2.2.1. L'option de référence

La solution de référence prise en compte par M-F consiste dans la solution la moins coûteuse permettant pour les 6 années à venir, d'obtenir les mêmes performances, et donc les mêmes bénéfices pour la collectivité, que ceux obtenus en 2016 par l'ordinateur actuel.

Les renseignements obtenus par M-F auprès des constructeurs potentiels suggère que le coût total associé (achat, fonctionnement et dépenses de personnel) serait d'environ **47 M€** (non actualisé sur 6 ans). En actualisant à 4,5 %, l'option de référence représente un coût socio-économique de 41 M€.

2.2.2. Option 1 : budget de 101,5 millions d'€

Tableau 1 : Budget de l'option 1

(M€)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	total HT	total TTC
investissement HT	26,9	2,4	2,4	19,5	2,4	0	53,6	64,3
fonctionnement HT	4,1	4,1	4,1	5,7	5,7	5,7	29,6	35,6
ingénierie / formation HT	0,6	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	1,4	1,6
total HT	31,7	6,7	6,7	25,5	8,2	5,8	84,6	
total TTC	38,0	8,0	8,0	30,6	9,9	7,0		101,5

L'option 1 correspond à un coût total TTC de **101,5 M€** (non actualisé et en valeur nominale). En actualisant à 4,5 %, la Valeur Actualisée Nette de ces coûts revient à 89,7 M€.

L'augmentation moyenne (sur la période 2019-2024) de la puissance de calcul serait d'environ 2,5 par rapport au système actuel.

2.2.3. Option 2 : budget de 179,2 millions d'€

Tableau 2 : Budget de l'option 2

(M€)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	total HT	total TTC
Investissement HT	45,2	5,0	5,0	35,8	5,0	0	96,0	115,2
Fonctionnement HT	7,0	7,0	7,0	10,0	10,0	10,0	51,2	61,4
ingénierie / formation HT	0,8	0,2	0,2	0,7	0,2	0,1	2,2	2,6
total HT	53,0	12,2	12,2	46,5	15,2	10,1	149,3	
total TTC	63,6	14,7	14,7	55,8	18,3	12,2		179,2

L'option 2 correspond à un coût total TTC de **179,2 M€** (non actualisé et en valeur nominale). En actualisant à 4,5 %, la Valeur Actualisée Nette de ces coûts revient à 158,0 M€.

L'augmentation moyenne (sur la période 2019-2024) de la puissance de calcul serait d'environ 5 par rapport au système actuel.

2.2.4. Option 3 : budget de 355,2 millions d'€

Tableau 3 : Budget de l'option 3

(M€)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	total HT	total TTC
Investissement HT	85,8	10,0	10,0	61,5	10,0	0	177,3	212,8
Fonctionnement HT	15,9	15,9	15,9	22,9	22,9	22,9	116,5	139,8
ingénierie / formation HT	0,8	0,2	0,2	0,7	0,2	0,1	2,2	2,6
total HT	102,5	26,1	26,1	85,1	33,2	23,0	296,0	
total TTC	123,0	31,3	31,3	102,1	39,8	27,7		355,2

L'option 3 correspond à un coût total TTC de **355,2 M€** (non actualisé et en valeur nominale). En actualisant à 4,5 %, la Valeur Actualisée Nette de ces coûts revient à 312,6 M€.

L'augmentation moyenne (sur la période 2019-2024) de la puissance de calcul serait d'environ 10 par rapport au système actuel.

Nous avons vérifié que les coûts fournis comprennent toutes les dépenses que Météo-France aura à engager en termes de fonctionnement, d'exploitation et d'utilisation des données supplémentaires engendrées par le supercalculateur.

2.2.5. Options écartées

La mutualisation éventuelle du supercalculateur avec d'autres établissements à missions plus ou moins connexes (instituts de recherche, autres Services Météorologiques Nationaux, opérateurs commerciaux français de météorologie) est écartée par Météo-France, en particulier en raison de considérations opérationnelles ou de souveraineté nationale.

Au vu des compléments et clarifications apportés à nos questions, il nous semble que les arguments avancés sont légitimes.

Par contre Météo-France envisage le développement de mutualisations porteuses de synergies, mais d'ampleur limitée et ne modifiant pas de manière significative l'équation budgétaire.

2.2.6. Notre avis sur les éléments de chiffrage budgétaire

La mission a examiné attentivement les chiffrages présentés et a en outre évalué les risques de dépassement des coûts ou des délais ainsi que ceux qui pourraient intervenir dans la qualité des prestations fournies par l'équipement. Notons d'abord que le processus d'obtention du supercalculateur, sous forme d'appel d'offre avec prix limite, prémunit contre le risque de dépassement du coût. La mission a vérifié que les précautions avaient été prises en ce qui concerne les besoins en personnel, très limités, pour l'exploitation de l'équipement. L'établissement a également analysé avec beaucoup de soin, par retour d'expérience, les précautions à prendre pour que le risque de défaut de qualité des prestations de l'équipement soit minimisé.

3. Impacts techniques et performance opérationnelle des options envisagées

3.1. Option de référence

Il s'agit de la situation actuelle. Cette option n'est qu'une référence et ce n'est pas vraiment une option, car les domaines de la prévision numériques du temps et des études climatiques sont des domaines en évolution extrêmement rapide et où la compétition internationale est particulièrement féroce. L'adage selon lequel "qui n'avance pas, recule" s'y applique sans aucun doute.

3.2. Option 1 : multiplication de la puissance calcul par 2,5

Dans cette option, l'accent est mis sur l'amélioration de l'assimilation de données (passage de 15 % à 34 % du temps de la chaîne opérationnelle consacré à l'assimilation).

Compte tenu de l'augmentation modeste de la puissance calcul, les bénéfices attendus en termes de qualité de prévision sont également modestes et liés en grande partie à une meilleure prise en compte des données d'observation (assimilation) et aux améliorations apportées aux variantes du modèle à résolution plus fine (AROME). Il faut noter aussi une certaine amélioration de la résolution du modèle global (ARPEGE).

Par contre les progrès possibles seraient relativement mineurs en termes de modélisation climatique.

Les documents fournis et les clarifications apportées à nos questions confirment le sérieux de l'analyse scientifique et technique faite par Météo-France pour tirer le meilleur profit de l'augmentation modérée de puissance de calcul. L'approche de M-F est consistante avec celle d'autres centres similaires (UKMO au Royaume Uni et DWD en Allemagne), tout en tirant un meilleur profit de la complémentarité avec la participation de la France au CEPMMT.

3.3. Option 2 : multiplication de la puissance calcul par 5

Cette option permettrait de mettre l'accent à la fois sur l'assimilation de données (comme dans l'option 1) et sur la résolution spatiale. Une telle augmentation de la puissance de calcul permettrait surtout de supprimer la distinction entre les techniques déterministes et probabilistes.

Dans cette option, outre les améliorations sur l'assimilation déjà prévues dans l'option 1, l'accent est mis sur la prévision d'ensemble, qui permet d'attribuer des probabilités aux différents scénarios d'évolution possibles.

Cela permettra également de faire des prévisions à résolution très fine (500 m) sur des zones stratégiques limitées.

Des améliorations significatives en sont attendues, en particulier pour la prévision de phénomènes intenses en métropole et sur les zones Outre-mer.

Dans le domaine climat, l'option 2 permet à la France d'être un des leaders européens, à travers en particulier des simulations régionales et de mieux contribuer aux activités internationales, telles que celles sous l'égide du GIEC et de l'OMM.

Pour cette option aussi, les documents fournis et les clarifications apportées par Météo-France à nos questions confirment l'analyse scientifique et technique faite. Les choix scientifiques et techniques sont difficiles, mais l'approche retenue par M-F permettra des ajustements, si nécessaires, pour optimiser l'utilisation de la puissance de calcul additionnelle, pour chacune des 2 phases de l'option 2.

3.4. Option 3 : multiplication de la puissance calcul par 10

Cette option est la plus coûteuse mais aussi la plus ambitieuse.

Elle a pour objectif de tirer un profit maximum de l'ensemble des connaissances scientifiques accumulées par M-F. Elle permettrait de mettre l'accent à la fois sur l'assimilation des données, afin d'optimiser les investissements faits dans le domaine de l'observation, au niveau national, mais aussi européen et global.

Elle permettrait également d'améliorer la résolution spatiale (horizontale et verticale) des prévisions et leur représentation statistique à travers la taille accrue des ensembles.

Cette option permettrait d'apporter des progrès encore plus importants lors de phénomènes extrêmes, en particulier pour la fourniture d'alertes plus précises et plus précoces. Elle permettrait aussi de disposer de prévisions d'ensemble pour les zones d'Outre-mer. Le potentiel d'amélioration serait également significatif pour les simulations et les services climatiques.

Compte tenu de la puissance de calcul bien plus importante dans cette option, le dilemme entre certains choix dans l'option 2 et encore plus dans l'option 1, est moindre. Néanmoins, compte tenu du fait que les progrès scientifiques seront certainement plus rapides dans l'option 3, certains réajustements peuvent s'avérer souhaitables, en particulier lors de la mise en œuvre de la phase 2 de l'option 3. Comme pour l'option 2, l'approche retenue par M-F permettra ces ajustements, si nécessaires, pour optimiser l'utilisation de la puissance de calcul additionnelle.

3.4. Considérations générales

Les progrès anticipés par Météo-France sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Progrès anticipés par Météo-France

Échéance et type de progrès	Option 1	Option 2	Option 3
Anticipation des phénomènes extrêmes (métropole) à 1h			
Anticipation des phénomènes extrêmes (métropole) à 3h			
Anticipation des phénomènes extrêmes (métropole) à 12h			
Anticipation des phénomènes extrêmes (métropole) à 24h			
Prévision immédiate autres phénomènes			
Prévision J - J+1 (information généraliste)			
Prévision J - J+1 (prise en compte de l'incertitude, aide à la décision)			
Prévision globale J+2-J+4 (information généraliste)			
Prévision globale J+2-J+4 (prise en compte de l'incertitude, aide à la décision)			
Prévision Outre-Mer			
Prévision saisonnière			
Services climatiques			
Climat Global, la France dans le GIEC			
Climat régionalisé (EuroMed - Outre-Mer)			
Climat urbain			
R&D sur les modèles futurs			

	Progrès important +
	Progrès important
	Progrès moyen
	Progrès léger
	Pas de progrès

Dans la lignée de nos commentaires sur les diverses options, nous pensons que ce tableau reflète de manière utile, qualitativement, les impacts attendus des diverses améliorations mises en œuvre. Ces impacts anticipés sont cohérents avec ce que d'autres centres majeurs de prévisions numériques attendent de l'augmentation de leur propre puissance de calcul (par ex. UKMO au Royaume Uni).

Sur ce dernier point, il nous semble que l'option 2 est un peu moins ambitieuse que le choix fait par le UKMO. Seule l'option 3 (ou au moins une option 2,5) permettrait à Météo-France de disposer d'une puissance de calcul comparable à celle de ses collègues et néanmoins concurrents britanniques sur la période considérée.

*Un des enjeux pour Météo-France de rester parmi les 4 ou 5 organisations leaders au plan mondial est aussi d'accroître les opportunités de décrocher des financements pour de grands projets, par exemple de la Commission Européenne. En particulier, le Brexit peut être une opportunité pour Météo-France d'être **Le** leader dans ce domaine dans l'UE.*

4. Impacts socio-économiques des options envisagées

Nous tenons tout d'abord à souligner la qualité du travail fait par Météo-France dans des délais très courts. La méthodologie employée est conforme aux recommandations tant en France qu'au niveau international³.

L'objectif du rapport de Météo-France n'est pas de quantifier le bénéfice socio-économique issu de l'information météorologique de Météo-France dans son ensemble, comme cela a été estimé dans de nombreux articles dans d'autres pays mais d'évaluer **le bénéfice marginal** pour la collectivité, issu d'une augmentation de puissance du supercalculateur de M-F, ou selon les termes classiques de l'analyse coûts-bénéfices, faire la différence entre un scénario « avec » (celui de chacune des options envisagées) et un scénario « sans » (celui de la solution de référence).

Dans le tableau ci-dessous, les colonnes correspondent aux différentes échéances de prévision sur lesquelles travaille Météo-France. Les lignes correspondent aux groupes d'acteurs que M-F estime être en attente de progrès en prévision numérique du temps. Les croix sont les échéances pour lesquelles M-F estime que ses progrès seraient le plus susceptibles de représenter un bénéfice pour les acteurs. Les cases jaunes sont les bénéfices socio-économiques pour M-F a effectué un chiffrage.

Tableau 5 : Effets du supercalculateur sur l'économie

catégorie d'acteur	PI événements extrêmes	PI autres phénomènes	prévision J- J+1	prévision J+4 globale	prise en compte incertitude	prévision saisonnière	services climatiques
production d'électricité	X		X	X	X	X	X
agriculture	X	X	X	X	X	X	X
transport aérien	X	X	X	X	X	X	
transport routier	X	X	X			X	
Transport maritime	X	X	X	X	X		
transport ferroviaire	X	X	X	X			
grande distribution			X	X		X	
santé	X		X	X		X	
grand public vigilance métropole	X	X					
grand public vigilance Outre Mer	X	X	X	X	X		
assurances	X	X	X	X	X	X	X
Défense		X	X		X		X
Ajustement des villes, quartiers et bâtiments			X				X

³ "Valuing Weather and Climate: Economic assessment of meteorological and hydrological services" 2015 WMO-N° 1153, by the World Bank and its GFDRR, WMO and USAID

Ce tableau appelle un certain nombre de remarques générales de notre part :

Nous pensons qu'un certain nombre de bénéfices potentiels ont été sous-estimés, voire pas mentionnés, en particulier :

- *Parmi les activités économiques bénéficiant d'une amélioration de la prévision météorologique, il faut ajouter le tourisme dont l'activité dépend à la fois des prévisions saisonnières et à court terme et peut bénéficier grandement de l'amélioration de ces prévisions*
- *Les alertes grand public peuvent aussi bénéficier de l'amélioration des prévisions globales de 2 manières : d'une part à travers des pré-alertes plus précoces et d'autre part à travers de meilleures conditions aux limites pour les prévisions à résolution plus fine.*
- *La défense pourrait sans doute également tirer bénéfice de progrès dans la prévision immédiate de phénomènes extrêmes, des prévisions globales à J+4, mais aussi des prévisions saisonnières dont le potentiel d'amélioration est significatif sur certaines régions stratégiques, telles que la zone sahélienne.*
- *Le BTP, mentionné uniquement dans la partie introductive du chapitre 5, est également un secteur où les améliorations apportées par le futur supercalculateur de Météo-France apporteront sans nul doute des bénéfices significatifs.*
- *La gestion des ressources en eau n'est pas mentionnée directement. Il est vrai qu'une partie des bénéfices attendus est liée aux secteurs de l'agriculture, de l'énergie ou de la prévention des catastrophes. Néanmoins, les bénéfices attendus vont bien au-delà.*
- *Enfin, les bénéfices liés au développement de services climatiques ne sont pas mentionnés dans ce tableau, bien qu'ils soient étudiés et même évalués en termes monétaires dans la suite du rapport. Ces bénéfices seront considérables, sur le plan socio-économique bien sûr, mais aussi afin d'informer les décisions politiques et stratégiques à plus long terme, y compris des enjeux géostratégiques (ressources en eau, réfugiés...). Cela est devenu encore plus critique dans le contexte de la lutte contre le changement climatique, à la fois en termes d'atténuation et d'adaptation.*

Par ailleurs, pour la plupart des postes de ce tableau, pour lesquels il n'y a guère d'études françaises, on ne trouve que relativement peu d'études quantitatives faites au niveau international. En outre lorsque de telles études existent, elles ne sont pas forcément transférables au contexte français. Il en résulte que les évaluations présentées sont entachées d'incertitude, car fondées largement sur des transferts de résultats étrangers, et ceci même si les considérations développées par M-F sont en général avisées et les transferts de bénéfices sont effectués très soigneusement.

Nous souhaitons commenter les différents postes intervenant dans l'évaluation, en commençant par les postes monétarisés.

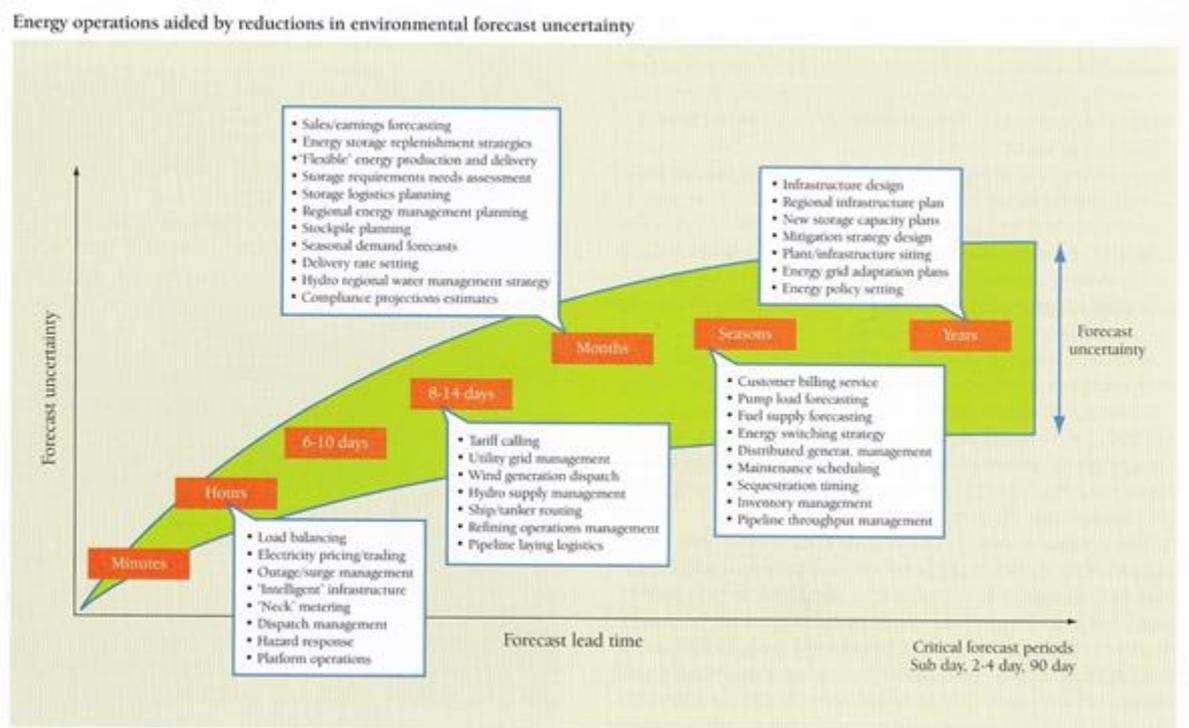
4.1. Energie

La sensibilité de la consommation électrique française aux conditions de basses températures est beaucoup plus forte que dans les autres pays comparables.

Suite aux clarifications apportées à nos questions, il apparaît que cela est dû à une utilisation beaucoup plus importante du chauffage électrique.

Seuls les bénéfices dans le secteur de l'hydroélectricité ont été chiffrés. L'évaluation faite par Météo-France des bénéfices venant d'améliorations dans les prévisions saisonnières dérive d'une évaluation faite aux États-Unis et la comparaison est un peu délicate en raison des différences de prévisibilité saisonnière entre ces 2 régions ; par ailleurs les ratios entre l'augmentation de puissance du supercalculateur et les bénéfices apportés sont fixés à dire d'expert. Néanmoins, compte tenu de l'approche très prudente de M-F qui n'a pas évalué plusieurs autres aspects (meilleure gestion des importations et exportations, effets sur la gestion des parcs d'éoliennes et de photovoltaïques), ainsi que d'autres études dans la littérature⁴, nous pensons que les bénéfices dans ce secteur sont plutôt sous-évalués, comme le montre la part relativement modeste (environ 15 %) que prend ce poste dans les bénéfices totaux, alors que la plupart des autres études donnent à l'énergie une place sensiblement plus importante (environ 25 % dans une étude sur le supercalculateur britannique, citée dans la Met Office review). La figure 1 ci-dessous décrit de manière qualitative comment de multiples décisions dans le domaine de la gestion opérationnelle de l'énergie, peuvent bénéficier de meilleures informations météorologiques et climatologiques à toutes les échelles temporelles.

Figure 1 : Energy operations aided by reductions in environmental forecast uncertainty⁵



Source: Courtesy of M.G. Altalo, Science Applications International Corp.

⁴ T J Teisberg, R F Weiher, and A Khotanzad: "The economic value of temperature forecasts in electricity generation" Bulletin of the American Meteorological Society - December 2005

⁵ Figure extraite d'un article de L. Dubus, EDF R&D "Weather, climate and water information and the energy sector" 2007 paru dans "Elements for life" publié par Tudor Rose pour l'OMM.

4.2. Transport aérien

Il s'agit historiquement du principal secteur client des informations météorologiques. L'évaluation de M-F porte surtout sur la réduction des coûts dus aux retards. Les hypothèses faites et les conclusions financières qui en sont tirées nous paraissent solides.

Par contre, l'étude ne prend pas en compte les bénéfices sur d'autres aspects, tels que l'optimisation des plans de vol et donc les quantités de carburant emportées et consommées, les bénéfices tirés par d'autres pays (en particulier dans les pays francophones d'Afrique de l'Ouest de l'utilisation pour l'aéronautique des produits de prévision numérique de Météo-France.

Par exemple M Warfield, General Manager à Qantas estimait en 2007⁶ que 1 minute de gagnée sur les vols trans-Pacifique permettait à Qantas d'économiser 1 M\$ par an. Ces chiffres sont sans doute transposables pour Air France. Cela permettrait aussi de réduire de manière significative l'empreinte carbone de cette activité, car l'essentiel du carburant est utilisé pour transporter du carburant et pas des passagers et des bagages. Les améliorations apportées par le nouveau supercalculateur, en particulier dans les options 2 et plus encore 3 (améliorations de la résolution spatiale et verticale des modèles, ainsi que de l'assimilation) permettront de gagner un nombre significatif de minutes et donc de millions d'euros.

Les options 2 et 3 permettraient également d'améliorer la sécurité des vols, en liaison avec les phénomènes de turbulence en ciel clair, de givrage, de cisaillement de vent... grâce en particulier à la résolution accrue.

Ces diverses considérations nous amènent à penser que dans ce secteur les bénéfices à attendre du projet sont très sensiblement plus importants qu'indiqués, en particulier pour les options 2 et 3 : ils n'atteignent que 1 % des bénéfices totaux alors que lorsque les effets sur les coûts des compagnies sont pris en compte, ils représentent quelques dizaines de pourcent.

4.3. Agriculture

Nous avons peu de commentaires sur cette partie. À défaut d'études spécifiques à la France, les calculs se fondent sur des transferts de bénéfices unitaires obtenus par des études spécifiques menées dans des pays étrangers, en particulier les USA. Les résultats qui en découlent sont bien évidemment incertains, même si le transfert de valeurs en question a été effectué avec tout le soin voulu, en se fondant sur des hypothèses plutôt conservatrices. Il est probable que les résultats, comme le note M-F soient sous-évalués.

Sur la question de la durée de retour de canicules, telles que celle de 2003 (événement d'ordre centennal à l'époque), les conclusions du GIEC suggèrent que cette durée pourrait être réduite à 10 ans à la fin du siècle. Sur la période du futur supercalculateur, il ne serait donc pas déraisonnable de tabler sur une durée de retour d'environ 80 à 90 ans, ce qui augmenterait de manière sensible (de 2 à 3 M€ par an) les bénéfices attendus de l'amélioration des prévisions saisonnières (options 2 et 3).

⁶ Cap Murray Warfield: "The impact of forecasting on aviation" presentation during the 2007 WMO conference on Secure and Sustainable Living Madrid - March 2007.

4.4. Grand Public, sécurité des personnes et des biens en métropole

L'analyse de M-F porte essentiellement sur les bénéfices en termes de sécurité des personnes et des biens, ce qui est effectivement au cœur de la mission de M-F et qui correspond au mieux à la notion de biens publics, au sens économique.

Pour ce qui est de la sécurité, l'analyse de M-F est solide, dans les domaines étudiés, mais n'aborde pas, ou peu l'impact pour des phénomènes tels que canicules et épisodes de pollution atmosphérique, qui comme le souligne l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), contribuent de manière significative à la mortalité prématurée et/ou à des pathologies handicapantes (par ex. allergies liées aux pollens). Il est peut être difficile de chiffrer, même de manière approximative, le nombre d'années de vie prolongées grâce à de meilleures alertes, mais même dans une hypothèse conservatrice, il s'agit certainement de plusieurs millions ou dizaines de millions d'euros par an en particulier dans les options 2 et 3. Pour ne citer que quelques chiffres sur l'ampleur de la question, le coût de la pollution de l'air a été estimé (rapport Sénat de Husson et Aïchi⁷) de l'ordre de 50 milliards d'euros par an ; les futures normes devraient permettre d'économiser environ 5,5 milliards d'euros par an. On imagine bien que de meilleures prévisions des phénomènes permettraient d'améliorer le bilan ; même si elles ne réduisaient que de 1/1000 le coût, cela représenterait 50 millions d'euros par an ! Pour la canicule de 2003, on estime les pertes en termes de vies humaines et de morbidité à environ 1,5 milliards d'euros⁸ ; l'épisode Xynthia a entraîné la mort d'environ 50 personnes, soit 150 millions d'euros environ, et causé 3,5 milliards de dégâts matériels⁹. Une meilleure prévision à court terme aurait permis d'éviter une bonne part des décès, et la prévision à long terme, de mieux calibrer les normes de construction et les ouvrages de protection.

Néanmoins, il nous semble que les autres bénéfices à attendre du futur supercalculateur vont bien au-delà. En particulier les bénéfices à attendre pour les ménages sont également significatifs. Une étude de bénéfices socio-économiques faite aux USA en 2003¹⁰ en préparation de l'acquisition d'un nouveau supercalculateur par le NWS de la NOAA (Le Service Météo National américain), avec un doublement de la puissance disponible (c'est à dire similaire à l'option 1) suggérait des bénéfices de l'ordre de 70 M\$ par an pour les ménages, dans les domaines des décisions pour les transports domicile-lieu de travail, loisirs, shopping et amélioration de l'habitat. En faisant l'approximation grossière que ces bénéfices sont liés à la taille de l'économie (soit un facteur d'environ 7 entre les USA et la France) et que les résultats sont en première approximation transférables au contexte français, cela suggérerait un bénéfice d'environ 5 à 8 M€ par an pour l'option 1, 10 à 15 M€ pour l'option 2 et 20 à 30 M€ pour l'option 3.

⁷ Husson et Aïchi, 2015. Le coût économique et financier de la pollution de l'air

⁸ Ministère de la Santé et des Sports, 2009. Impacts du changement climatique sur la santé en France

⁹ HAL, 2014. Gestion des risques naturel - Leçons de la tempête Xynthia

¹⁰ Benefit Analysis for National Oceanic and Atmospheric Administration High-Performance Computing System for Research Application. J K Lazo et al.- Stratus Consulting 2003

4.5. Grand Public, sécurité des personnes et des biens en Outre-mer

Nos commentaires sont semblables à ceux faits pour la métropole. L'analyse détaillée est essentiellement basée sur l'amélioration des alertes pour les cyclones tropicaux. Il aurait été intéressant d'évaluer de manière qualitative (car il n'y a pas d'études quantitatives pertinentes à ce sujet, du moins à notre connaissance) l'apport du futur supercalculateur pour l'anticipation de problèmes de santé météo-sensibles (malaria, dengue, chikunguya, méningite...).

En tout état de cause nous pouvons affirmer que cela conduit à une sous-évaluation des bénéfices.

4.6. Les acteurs de la Météorologie

Cette section couvre l'ensemble des autres secteurs et en particulier, les bénéfices à travers les autres acteurs et en particulier les sociétés privées offrant des services météorologiques. L'étude a retenu les profits moyens dans les activités correspondantes ; le poste correspondant est faible, et devrait même être nul si le marché était parfaitement concurrentiel (prix de vente=coût marginal). Mais il faut signaler un aspect bénéfique des activités correspondantes, aspect qui n'est pas saisi par l'analyse coût-bénéfice traditionnelle, c'est la valeur « catalytique » de ces activités: elles sont à haut niveau technologique, par la contagion des innovations qu'elles suscitent, elles contribuent à développer la productivité générale et l'activité économique. Même si cet aspect n'est pas - au moins en l'état actuel - quantifiable, il doit être pris en compte parmi les éléments qualitatifs d'évaluation du projet.

4.7. Concepteur/fournisseur du supercalculateur

Comme pour le poste précédent, dans un environnement compétitif, ce poste doit être ramené à zéro dans le calcul de la VAN. Toutefois sur un plan qualitatif il faut tenir compte des conséquences d'accélération du progrès technique qu'entraîneront la construction et l'exploitation du supercalculateur.

4.8. Bénéfices socio-économiques en matière d'adaptation au changement climatique

*Il s'agit sans doute de la partie où les bénéfices sont sous-évalués de la manière la plus significative. Tout d'abord au niveau du périmètre de cette partie, le titre de M-F parle uniquement d' "**adaptation**", alors que les bénéfices à attendre seront également important en termes d' "**atténuation**", c'est-à-dire de contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Dans cette catégorie, on peut inclure toutes les informations en soutien à la planification et au développement des énergies renouvelables, mais aussi le soutien à l'amélioration de l'efficacité énergétique, les scénarios anticipés de consommation.*

Cependant, nous sommes d'accord avec M-F sur la prise en compte de l'étude du UKMO, qui est à ce jour la seule qui tente de quantifier l'apport d'un nouveau supercalculateur dans ce domaine. Nous sommes également d'accord avec l'analyse de M-F sur les limites de cette étude et les difficultés de transfert. En outre, l'étude britannique se focalise sur l'amélioration de la TCR (Transient Climate Response) et de manière générale sur les aspects des changements climatiques associés à la température. Or certains des changements les plus importants à attendre seront liés à la modification de la fréquence et/ou de l'intensité des phénomènes extrêmes, aux changements dans le cycle hydrologique, sur la nébulosité, à l'élévation du niveau des océans... Par ailleurs un changement majeur dans les prochaines années sera l'ouverture régulière, au moins en été, de routes maritimes commerciales à travers la région arctique. Le nouveau supercalculateur, dans les options 2 et 3 permettra de développer de nouveaux produits en soutien de ces activités, et aussi afin d'en assurer la sécurité.

Compte tenu du fait qu'un certain nombre de décisions stratégiques, en particulier dans le domaine de la transition énergétique ou de la planification stratégique, seront à prendre pendant la période de disponibilité du futur supercalculateur, nous pensons qu'il faut inclure dans l'analyse finale les chiffres indiqués par M-F, comme un strict minimum.

Cela serait cohérent avec les stratégies adoptées au plan global, dans le domaine du changement climatique (mise en œuvre de l'accord de Paris-2015), du développement durable (Agenda 2030 et ODD-Objectifs de Développement Durable - 2015) et de la réduction des catastrophes Naturelles (Cadre de Sendai - 2015). Cela permettrait également à la France de contribuer de manière plus significative au Cadre Mondial pour les Services Climatiques adopté à l'unanimité par le Congrès Météorologique Mondial en 2015.

A côté de ces postes qui ont été inclus dans la monétarisation effectuée par Météo-France, le tableau 5 du rapport de M-F comporte un certain nombre d'autres postes qui n'ont pas été chiffrés par Météo-France. Les études concernant ces postes sont rares, il y a peu d'études quantitatives sur ces sujets et celles qui existent ne sont pas forcément transférables à la France. Il convient néanmoins de prendre une vue de leur importance pour les introduire de façon qualitative, ne serait-ce qu'à dire d'expert, dans l'évaluation d'ensemble du projet.

Comme déjà mentionné dans nos remarques générales au début de la section 1.4, nous pensons que les bénéfices qui peuvent être retirés des transports ferroviaire, maritime (y compris activités offshore) et routiers sont significatifs et pourraient être de l'ordre de quelques dizaines de millions d'euros au total. Il en va de même pour d'autres activités économiques telles le BTP ou la grande distribution et les assurances.

La santé est également un secteur auquel les progrès de la météorologie peuvent apporter des bénéfices importants. On a vu plus haut les enjeux d'une meilleure prévision de la pollution de l'air. Des raisons analogues peuvent être développées pour la santé, à travers la prévision des épisodes épidémiologiques et la gestion des services de soins et équipes médicales¹¹.

¹¹ "Atlas of Health and Climate" 2012 WMO-N° 1098, by WMO and WHO

La Défense est un secteur stratégique dans tous les sens du terme. Les bénéfices économiques et stratégiques de l'augmentation de la puissance calcul de Météo-France sont indiscutables, en tous cas pour l'option 2 et encore plus pour l'option 3, comme mentionné dans le document de M-F. La liste des améliorations attendues par le Ministère de la Défense est indiquée page 72 du document. Nous n'avons bien entendu aucune raison de la mettre en doute et nous comprenons les raisons avancées par Météo-France pour ne pas chiffrer cette partie. Néanmoins, il s'agit de bénéfices significatifs qui peuvent influencer sur l'analyse finale. Afin d'avoir un ordre de grandeur, nous suggérons donc de prendre en compte l'exemple britannique, où le Service Météo national (le UKMO) dépend du ministère de la Défense et reçoit de celui-ci une part importante de son budget. En 2011, par exemple, cela représentait à peu près 17 % de ses revenus (rapport annuel public). Une hypothèse raisonnable et sans doute conservatrice, serait donc d'attribuer 17 % des bénéfices attendus à la Défense, c'est-à-dire d'augmenter de 20 % les bénéfices attendus pour les diverses options. Cela reviendrait à ajouter 60 M€ pour l'option 1, 150 M€ pour l'option 2 et 250 M€ pour l'option 3. Une autre raison que l'hypothèse prise soit conservatrice tient à ce que, en raison de ses usages sophistiqués, la Défense est potentiellement un bénéficiaire proportionnellement plus important des améliorations des options 2 et encore plus 3.

4.9. Effets au-delà de 2024

L'étude menée par Météo-France suppose que les effets du choix qui va être opéré ne dépasseront pas 2024. Si l'on se projet au-delà, on peut, compte tenu des évolutions technologiques à venir, tracer les perspectives suivantes : compte tenu de l'affaiblissement prévisible de la loi de Moore, le remplacement du supercalculateur à venir autour de 2024 devrait, si l'on veut maintenir l'excellence français, conduire à un investissement dont le montant sera à peu près du même ordre de grandeur de celui qui est en jeu actuellement. Mais la dépense n'aura pas alors la même efficacité selon la solution adoptée en 2018. Des irréversibilités au moins temporaires, des formes d'hystérésis, vont se produire, et elles seront d'autant plus fortes que la variante choisie aura une faible puissance et que l'ambition ultérieure est élevée. Météo-France considère à juste titre que cet effet d'hystérésis est très fort pour l'option 1 : si, ayant choisi cette option, on veut par la suite retrouver la trajectoire de puissance et de service rendu qu'il aurait été possible d'avoir avec l'option 2 ou a fortiori avec l'option 3, on ne pourra le faire instantanément, mais cela nécessitera un décalage de plusieurs années Cet effet est moins marqué pour l'option 2 si ensuite on veut retrouver la trajectoire qu'on aurait pu avoir avec l'option 3. C'est un effet de cliquet, ou d'irréversibilité partielle, qui joue en défaveur des options les plus faibles, dont on peut apprécier l'ordre de grandeur : avec l'hypothèse que la durée de reprise de la trajectoire technologique perdue est de 6 ans (de 2025 à 2030), les VAN seraient probablement multipliées par un facteur de l'ordre de quelques dizaines de pourcent.

4.10 Indicateurs retenus et tableau final

Le tableau suivant résume la discussion qui précède ; il corrige les bénéfices quantifiés ; il fait apparaître les VAN correspondant aux trois options, qui constituent le bon indicateur de choix de variantes (le rapport Bénéfice/coût, qui se situe autour de 15, est un indicateur malthusien qui privilégie indûment les options de faible ampleur) ; il ajoute sous forme qualitative les postes de bénéfices qu'il n'a pas été possible de chiffrer en termes monétaires.

Tableau 6 : Quantification et évaluation qualitative des bénéfices du supercalculateur

Montants en millions d'Euro	option 1	option 2	option 3	commentaire
VAN finances publiques	-61,8	-148,6	-344,9	
Bénéfices monétarisés par Météo-France				
VAN énergie	33,7	101,1	168,5	Sous-estimation
VAN aérien	2,5	20,1	25,2	Forte sous estimation
VAN agriculture	2,1	74,0€	150,5	
VAN vigilance métropole	249,8	407,9	666,7	Sous estimation de 5 à 30 M€ selon l'option
VAN outre mer	23,2	116,4	163,0	Sous estimation
VAN acteurs services météo	1,1	2,2	3,9	
VAN constructeur HPC	3,7	6,5	13,0	
VAN Climat	273,5	376,1	601,8	
VAN calculée par Météo-France	528,0	956,0	1 447,8	
Postes à réduire à zéro : VANs acteurs et constructeur	-4,8	-8,8	-16,9	
Poste à ajouter VAN Défense	60,0	150,0	250,0	
VAN recalculée	673,2	1097,3	1580,9	
Bénéfices non monétarisés, dont l'ordre de grandeur est évalué sur une échelle qualitative				
Transports routiers, ferroviaires et maritime	*	**	***	
BTP Tourisme	*	**	**	
Santé	*	**	***	
Prolongation des effets au-delà de 2024		**	***	
Effet d'entraînement technologique		*	*	
Position nationale dans la coopération internationale		**	***	

7. Conclusions et recommandations

Les services météorologiques et climatiques fournis par Météo-France prennent, en France comme dans tous les autres pays, une place croissante et de plus en plus reconnue dans le bon fonctionnement de notre économie. La qualité de ces services en constante amélioration, à la fois en termes de précision et aussi d'échéances, se trouve, malgré une augmentation considérable depuis plus de 25 ans, toujours contrainte par la puissance de calcul du supercalculateur à la disposition de Météo-France, comme dans les pays comparables. C'est dire combien le choix de ce supercalculateur est important et doit être étudié avec soin.

*Météo-France l'a bien compris. L'établissement public a analysé depuis deux ans les caractéristiques techniques de l'équipement qui devra remplacer le supercalculateur actuel, en place depuis 4 ans, et qui atteindra bientôt son niveau d'obsolescence technologique. Par rapport à un scénario de base conduisant au maintien de la puissance actuelle, 3 variantes ont été étudiées, définies par le facteur multiplicateur de la puissance actuelle qu'elles permettront d'atteindre : respectivement 2,5 pour la variante 1 ; 5 pour la variante 2 ; et 10 pour la variante 3. La durée de vie a été prise égale à 6 ans, comme c'est habituel pour les équipements de ce type, car il s'agit d'un domaine où l'obsolescence technique est très rapide¹². Dans chaque variante, le supplément de puissance est installé en deux étapes de 3 ans chacune et le facteur multiplicateur qui vient d'être cité correspond à la puissance **moyenne** disponible sur la période 2019-2024, par rapport à la puissance **actuelle** (2016).*

Pour éclairer le choix entre ces trois options, Météo-France a procédé à une étude économique de qualité dans laquelle ont été analysés les coûts et les bénéfices de chacune des variantes.

La mission a vérifié que les dépenses prises en compte¹³ représentaient bien, non seulement les coûts d'acquisition mais aussi toutes les dépenses de fonctionnement et d'exploitation diverses entraînées par l'équipement. Elle s'est assurée que les options de mutualisation de l'équipement avec d'autres pays ou d'autres organismes français n'étaient pas viables, sauf de manière marginale. Elle a vérifié, par comparaison avec les renouvellements passés, qu'il n'y avait pas de biais d'optimisme dans les coûts et la qualité des prestations et que Météo-France avait bien analysé les risques et pris les mesures pour les minimiser, notamment par retour d'expérience de l'achat du supercalculateur précédent. Les coûts ont été évalués dans les deux options d'achat ou d'infogérance ; la différence entre les deux est minime. La mission n'a pas pris parti sur le type de contrat, car le choix dépend surtout des clauses précises des contrats, dont l'analyse serait sortie du cadre de son expertise.

La partie la plus délicate de l'étude concerne l'évaluation des bénéfices attendus. Plusieurs d'entre eux ont été estimés quantitativement et exprimés donc en valeurs monétaires ; les autres ont été évalués de façon qualitative, sur une échelle exprimée en trois catégories.

¹² Selon la loi de Moore, la puissance disponible, à coût constant, des calculateurs a doublé tous les 18 mois environ lors des 25 à 30 dernières années. Cependant, en raison de limites liées à la taille physique des atomes, cette croissance a tendance à ralentir.

¹³ Plus précisément, ce qui est à compter pour chaque variante, c'est la différence entre le coût de cette variante et le coût de la solution de référence, le statu quo. Il en ira de même plus bas pour les bénéfices.

La mission a vérifié les estimations quantifiées et a trouvé plusieurs causes de sous-estimations, qu'elle n'a pas pu corriger de façon fiable. Elle a jugé plus raisonnable de compter pour zéro les bénéfices attribués aux acteurs de la météo et au constructeur, ce qui correspond à la situation de concurrence que connaissent les marchés en question. Elle a également remplacé une des évaluations qualitatives (impacts pour la Défense) par une estimation quantitative, basée sur les résultats d'un pays semblable. Elle a par ailleurs considéré que le choix d'une variante basse aurait un effet de cliquet en ce sens qu'il serait d'autant plus difficile de retrouver une trajectoire de haute performance qu'on serait parti de bas. L'étude ne quantifie pas plusieurs postes pour lesquels, dans l'état des connaissances et des données disponibles, on ne peut procéder qu'à des évaluations qualitatives, mais dont, par comparaison notamment avec des études étrangères, on doit penser qu'ils pèsent un poids important. Les indicateurs (VAN et TRI) présentés sont donc certainement sous-estimés¹⁴ ; leur ordre de grandeur les fait apparaître très élevées si on les compare aux rentabilités obtenues dans d'autres secteurs tels que les transports ou l'énergie, où les taux de rentabilité interne dépassent rarement 15 %. Mais la comparaison avec les autres études faites à l'étranger dans le domaine de la météorologie montre que ces rentabilités sont courantes dans ce secteur, voire même plus élevées¹⁵.

Il en résulte que le remplacement du supercalculateur actuel est une opération très rentable, bien sûr pour la collectivité dans son ensemble. Elle l'est aussi pour l'Etat en termes de coûts évités. Reste à choisir la variante. D'un point de vue strictement économique, le critère à retenir pour le choix entre variantes est celui de la VAN¹⁶ et de ce point de vue la variante 3 apparaît la meilleure.

Mais au-delà du simple calcul économique, et compte tenu des incertitudes frappant la détermination des avantages, des considérations plus qualitatives doivent être prises en considération. Elles concernent en particulier la position de la France dans le concert international. La météorologie est un domaine international très ouvert, où règne à la fois une excellente coopération mais aussi une compétition scientifique très forte. La France y tient actuellement une place éminente ; on considère qu'elle est au coude à coude avec le Met Office du Royaume Uni, le leader actuel au niveau de l'Union Européenne et juste devant l'Allemagne : en choisissant l'option 2, alors que les britanniques ont déjà commencé la mise en place d'un superordinateur correspondant plutôt à une option 2,5, notre retard vis-à-vis du Royaume Uni deviendrait significatif, et la France risquerait même d'être dépassés par l'Allemagne. Ceci conforte l'idée qu'il convient d'explorer la possibilité d'aller au-delà de l'option 2. Nous pensons important de noter que, en cas de choix de l'option 1, le décrochement international ne serait plus un risque, mais une certitude.

On peut s'interroger sur le bienfondé de l'option 3. On pourrait d'abord objecter que cette option introduit une rupture dans le niveau des crédits et du personnel de l'établissement public et se heurte aux contraintes des ressources publiques, alors que pour l'option 2, il n'est guère besoin de personnel supplémentaire et l'augmentation des crédits nécessaires est sensiblement plus faible. Il faut aussi prendre en compte les difficultés que pourrait avoir l'établissement public à gérer, en termes organisationnels, l'augmentation éventuelle des

¹⁴ La mission a jugé, à dire d'expert, que l'ajout des postes qualitatifs aurait pour effet de multiplier les indicateurs économiques, et notamment les VAN, par un facteur de l'ordre de 1,25 à 1,5, sans changer l'ordre des variantes.

¹⁵ Par exemple, parmi de nombreuses études, notons que la rentabilité du nouveau supercalculateur anglais dont la phase 1 vient d'être installée est de 22 :1. Le service météorologique britannique est le plus comparable à M-F en Europe.

¹⁶ Il est bien connu que les critères du type taux de rentabilité interne ou bénéfice/coût conduisent à des solutions sous-dimensionnées.

effectifs qu'entraînerait l'option 3, par exemple en termes de compétences à créer et d'équipes à constituer. Notons néanmoins qu'à l'étranger les cas sont non isolés où, en présence de telles rentabilités, les Etats ont consenti des efforts budgétaires sensibles pour des investissements météo¹⁷. Il faut en outre noter que parmi les bénéfices procurés par l'investissement, une part non négligeable reviendra à la puissance publique, soit sous forme d'amélioration des services de certains départements ministériels (comme la Défense, qui au Royaume Uni et dans un certain nombre d'autres pays contribue directement au budget du Service Météorologique National) soit sous forme d'économies significatives de dépenses (comme ce sera le cas pour les postes de vigilance en métropole et encore plus Outre-mer, ou pour la santé) ; des évaluations simples montrent que le retour pour les budgets publics seront sensiblement supérieurs aux dépenses d'investissement et de fonctionnement du supercalculateur. On pourrait d'ailleurs se demander si Météo-France, qui remplit une mission de service public dont beaucoup d'agents tirent des bénéfices importants en valeur monétaire ne devrait pas être attributaire d'une redevance analogue aux redevances de service universel qui existent dans d'autres secteurs et visent à rétribuer des services fournis soit gratuitement soit à un prix inférieur à leur coût.

Enfin la mission encourage Météo-France à poursuivre et développer ses efforts de diffusion et d'appropriation des résultats par les acteurs économiques afin de bien mettre à profit les avantages procurés par le nouvel équipement ainsi que les études socio-économiques. L'expérience et le savoir rassemblé au cours de la présente étude constituent une base solide ; il serait dommage de ne pas profiter de cet élan. Le développement de telles études permettrait de mieux justifier les choix de développement de l'établissement ; conduisant à mieux apprécier les bénéfices apportés par les services météorologiques et climatiques, il fournirait des bases rationnelles pour les développer et les optimiser. Le développement des études économiques passe par des réflexions théoriques qui seront facilitées en puisant au savoir accumulé sur le sujet au niveau international ; il passe aussi par des études concrètes permettant de mettre des chiffres correspondant aux cas français, et une occasion de rassembler les informations nécessaires à cela serait de mettre en place un observatoire destiné à mesurer de manière quantitative et qualitative les services qui seront rendus à l'économie nationale par le supercalculateur et au-delà à évaluer la contribution, sans doute importante de Météo-France et de la France, à l'Agenda international du développement durable et à la mise en œuvre des engagements pris lors de l'Accord de Paris (décembre 2015) sur la lutte contre le changement climatique.

¹⁷ C'est notamment le cas au Royaume Uni, où une subvention à caractère exceptionnel compte tenu des règles budgétaires du pays a été attribuée au supercalculateur en cours de mise en place.