



Prospective socio-économique et démographique
Pressions anthropiques

Octobre 2012

SOMMAIRE

1.	SYNTHESE	6
2.	INTRODUCTION	17
3.	LE MODELE SOCIO-ECONOMIQUE	19
3.1.	LES BESOINS	19
3.2.	APERÇU GENERAL DU SYSTEME DE MODELISATION	20
3.3.	LES DIFFERENTS MODULES	22
3.3.1.	LE MODULE SOCIODEMOGRAPHIQUE	22
3.3.2.	LE MODULE DE REPARTITION TERRITORIALE DE L'HABITAT	24
3.3.3.	LE MODULE DE CROISSANCE ECONOMIQUE	25
3.3.4.	LE MODULE RELATIF A L'AGRICULTURE	29
3.3.5.	LE MODULE TRANSPORT ET MOBILITE	34
3.3.6.	LE MODULE ENERGIE	35
3.4.	EVALUATION DES PRESSIONS ANTHROPIQUES	36
3.4.1.	DEMARCHE	36
3.4.2.	METHODES ET MOYENS	36
4.	RESULTATS PRELIMINAIRES DES DEUX SCENARIOS TENDANCIELS	46
4.1.	PREAMBULE	46
4.2.	MODULE SOCIO-DEMOGRAPHIQUE	47
4.2.1.	LES PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUES	47
4.2.2.	LES HYPOTHESES DEMOGRAPHIQUES RETENUES	47
4.2.3.	LA POPULATION DE LA FRANCE METROPOLITAINE A L'HORIZON 2070	50
4.2.4.	LA POPULATION DES REGIONS A L'HORIZON 2070	54
4.2.5.	LES MENAGES A L'HORIZON 2070	56
4.3.	MODULE HABITAT-LOGEMENT	64
4.3.1.	HYPOTHESES	64
4.3.2.	RESULTATS	69
4.4.	MODULE AGRICULTURE	82
4.4.1.	EXERCICES DE PROSPECTIVE UTILISES	82

4.4.2.	HYPOTHESES QUALITATIVES DE CONTEXTE	83
4.4.3.	PARTIE OFFRE	83
4.4.4.	PARTIE DEMANDE	95
4.4.5.	BALANCE COMMERCIALE ET SECURITE ALIMENTAIRE DE LA FRANCE	97
4.5.	MODULE ECONOMIE – INDUSTRIE	100
4.5.1.	LA CROISSANCE ECONOMIQUE	100
4.6.	MODULE ENERGIE.....	110
4.6.1.	CONTEXTE INTERNATIONAL ET CADRAGE DES HYPOTHESES	110
4.6.2.	EVOLUTION DES CONSOMMATIONS D’ENERGIE ET DE LA PRODUCTION D’ENERGIE PRIMAIRE EN FRANCE A L’HORIZON 2070.....	118
4.6.3.	SYNTHESE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES ET CONSEQUENCES SUR LA PRODUCTION D’ENERGIE PRIMAIRE	133
5.	LES PRESSIONS LIEES A L’ALIMENTATION EN EAU POTABLE ____	138
5.1.	PRESENTATION DU CHAMP AEP	138
5.2.	LES QUANTITES D’EAU PRELEVEES POUR LES USAGES AEP	138
5.2.1.	REPARTITION PAR SECTEUR	138
5.2.2.	SOURCES DE PRELEVEMENTS	138
5.3.	RETROSPECTIVE SUR LES PRELEVEMENTS AEP (1955-2006)	139
5.4.	LES RATIOS CLES DE PRELEVEMENTS ET DE CONSOMMATION.....	140
5.5.	LE SOUS-SYSTEME DE L’AEP	140
5.6.	LA METHODOLOGIE DE PROJECTION DES PRELEVEMENTS ET CONSOMMATION LIEES A L’AEP.....	143
5.6.1.	LES PRINCIPES DE LA MODELISATION	144
5.6.2.	LES HYPOTHESES RETENUES	145
5.7.	LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L’HORIZON 2070.....	152
6.	LES PRESSIONS LIEES A LA PRODUCTION D’ENERGIE _____	156
6.1.	PRESENTATION DU CHAMP ENERGIE	156
6.2.	LES QUANTITES D’EAU PRELEVEES POUR LES USAGES LIES A LA PRODUCTION D’ENERGIE	156
6.2.1.	REPARTITION PAR SECTEUR	156
6.2.2.	SOURCES DE PRELEVEMENTS	158
6.3.	LES QUANTITES D’EAU PRELEVEES POUR LES USAGES LIES A LA PRODUCTION D’ENERGIE NUCLEAIRE A L’HORIZON 2070	158

7.	LES PRESSIONS LIEES A LA PRODUCTION AGRICOLE (IRRIGATION)	159
7.1.	PRESENTATION DU CHAMP IRRIGATION.....	159
7.1.1.	LES RESTRICTIONS LIEES A L'IRRIGATION.....	159
7.2.	LES QUANTITES D'EAU PRELEVEES POUR L'IRRIGATION	162
7.2.1.	REPARTITION DES SURFACES IRRIGUEES PAR CULTURE	162
7.3.	SOURCES DE PRELEVEMENTS.....	163
7.4.	LES PRINCIPES DE LA PROJECTION ET LES HYPOTHESES RETENUES	163
7.5.	LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070.....	164
8.	LES PRESSIONS LIEES A L'INDUSTRIE _____	165
8.1.	PRESENTATION DU CHAMP INDUSTRIES	165
8.2.	LES QUANTITES D'EAU PRELEVEES PAR L'INDUSTRIE	166
8.2.1.	REPARTITION PAR SECTEUR	166
8.2.2.	SOURCES DE PRELEVEMENTS	168
8.3.	LES USAGES DE L'EAU INDUSTRIELLE	169
8.4.	LA NATURE DES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT	171
8.5.	LES TAUX DE CONSOMMATION DES EAUX.....	172
8.6.	LE SOUS-SYSTEME « INDUSTRIE ».....	173
8.7.	LA METHODOLOGIE DE PROJECTION DES PRELEVEMENTS ET CONSOMMATIONS LIEES A L'INDUSTRIE	174
8.7.1.	LES PRINCIPES DE LA MODELISATION	174
8.7.2.	LES HYPOTHESES RETENUES.....	177
8.8.	LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070.....	179
9.	STRATEGIES D'ADAPTATION EVALUEES DANS LE CADRE DU PROJET EXPLORE 2070_____	184
9.1.	LES PRESSIONS LIEES A L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE EVALUEES POUR LA STRATEGIE D'ADAPTATION 1 « SOBRIETE DANS LES USAGES DE L'EAU » ET POUR LA STRATEGIE D'ADAPTATION INTERMEDIAIRE (SI)	184
9.1.1.	LES HYPOTHESES RETENUES	184
9.1.2.	LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070 POUR LES STRATEGIES D'ADAPTATION S1 ET SI	185
9.2.	LES PRESSIONS LIEES A L'INDUSTRIE EVALUEES POUR LA STRATEGIE D'ADAPTATION 1 « SOBRIETE DANS LES USAGES DE L'EAU » ET POUR LA	

STRATEGIE D'ADAPTATION INTERMEDIAIRE (SI).....	187
9.2.1. LES HYPOTHESES RETENUES	187
9.2.2. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070 POUR LES STRATEGIES D'ADAPTATION S1 ET SI	187
9.3. LES PRESSIONS LIEES A LA PRODUCTION D'ENERGIE EVALUEES POUR LES HYPOTHESES ENERGIE 1 ET 2 DANS LE CADRE DES STRATEGIES D'ADAPTATION.....	188
9.3.1. LES HYPOTHESES ENERGETIQUES RETENUES.....	188
9.3.2. LES RATIOS CLES DE PRELEVEMENTS ET DE CONSOMMATION.....	189
9.3.3. LES RATIOS DE PRELEVEMENTS D'EAU PAR LES CENTRALES NUCLEAIRES	189
9.3.4. LES RATIOS DE CONSOMMATION D'EAU PAR LES CENTRALES NUCLEAIRES.....	190
9.3.5. LE SOUS-SYSTEME PRODUCTION D'ENERGIE (ELECTRICITE).....	191
9.3.6. LA METHODOLOGIE DE PROJECTION DES PRELEVEMENTS ET CONSOMMATION LIEES A LA PRODUCTION D'ENERGIE.....	191
9.3.7. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070	196
9.4. LES PRESSIONS LIEES A LA PRODUCTION ARIKOLE (IRRIGATION) EVALUEES POUR LES STRATEGIES D'ADAPTATION S1, SI ET S2.....	197
9.4.1. LES HYPOTHESES RETENUES	197
9.4.2. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070 POUR LES STRATEGIES D'ADAPTATION S1, SI ET S2	198

1. SYNTHESE

L'objectif de ce rapport est de présenter les deux scénarios tendanciels à stabilité climatique définis comme points de départ pour l'estimation future des impacts sur l'eau du changement climatique. Les scénarios sont construits à l'horizon 2070.

La première partie du rapport (chapitres 1 à 5) présente les scénarios socio-économiques. La deuxième partie (chapitres 6 à 9) présente les premiers chiffreages des conséquences de ces scénarios sur les consommations par secteur, et sur les prélèvements en eau.

Partant d'hypothèses de contexte mondial et de projections démographiques au niveau national, déclinées au niveau régional en tenant compte des évolutions du solde naturel au niveau régional et des migrations résidentielles interrégionales, le BIPE a construit des projections de nombre de ménages, par type de ménage. Ces projections du nombre de ménages permettent de définir les besoins en logements et les besoins en eau, ainsi que les besoins de mobilité, les consommations énergétiques et les consommations d'autres biens et services. Toutes ces évolutions de la demande influencent l'activité économique des secteurs concernés. Le système de prévision est donc organisé en plusieurs modules, interconnectés entre eux pour assurer une cohérence globale. Sept grands modules ont ainsi été définis, relatifs à : la démographie, l'agriculture, l'habitat/construction, les transports, l'énergie, les activités économiques par grands secteurs, les besoins en eau. De ces modules, on déduit dans un second temps les pressions anthropiques sur la ressource en eau.

Deux scénarios tendanciels à stabilité climatique ont été quantifiés. Le premier scénario tendanciel est un scénario de concentration relative de l'habitat : l'augmentation du nombre de ménages ne se traduit pas par un plus grand étalement de l'habitat sur le territoire, mais plutôt par une concentration plus forte de l'habitat dans les zones déjà occupées par des activités économiques et des logements. Le deuxième scénario suppose une accélération du phénomène d'étalement de l'habitat que l'on a connu ces dernières années, avec une multiplication par deux de la superficie artificialisée en métropole. La part des sols artificialisés en métropole s'approcherait ainsi 20% du territoire métropolitain, comparé à un chiffre légèrement inférieur à 10% aujourd'hui, ce qui réduit d'autant les surfaces disponibles pour l'agriculture, les prairies et les forêts, et oblige à faire des arbitrages sur l'utilisation future des sols. Pour éviter une réduction des surfaces occupées par les prairies et forêts, le scénario d'étalement de l'habitat conduit à une production agricole moins importante que dans le scénario précédent (supposant une concentration de l'habitat sur le territoire). Le scénario d'étalement a aussi des conséquences sur la demande finale d'énergie, puisqu'au plus

grand étalement de l'habitat est associé une augmentation du nombre de kilomètres moyens annuels parcourus par les ménages, et une hausse du transport de marchandises - augmentant de ce fait la consommation d'énergie des transports. En revanche, en l'absence de différences dans les taux d'amélioration de l'efficacité énergétique des maisons individuelles et des appartements respectivement, les consommations énergétiques des bâtiments sont identiques dans les deux scénarios tendanciels. En effet, si les taux de propriétaires de maisons individuelles sont plus élevés que pour les appartements, ce qui inciterait les occupants des maisons individuelles à entreprendre plus volontiers des travaux d'isolation, le coût de tels travaux est également supérieur : il n'est donc pas certain que les efforts consentis dans les maisons individuelles permettent d'améliorer l'efficacité énergétique beaucoup plus que dans les appartements. La seule variable influençant les taux d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments dans les deux scénarios est l'année de construction.

Concernant le cadrage socio-démographique des deux scénarios tendanciels à stabilité climatique, les deux scénarios s'appuient sur les prévisions de l'INSEE en termes de croissance démographique et de migrations internes, et les prolongent à horizon 2070. Ils prévoient une hausse de la population en France métropolitaine de 13 millions d'habitants, ce qui porterait la population à 74,8 millions d'habitants en 2070, contre 61,8 millions au 1^{er} janvier 2007. Cette population aura vieilli puisque 16,6% aura 75 ans ou plus en 2070, contre 8,5% en 2007, et 21,8% aura moins de 20 ans (24,8% en 2007). La différence la plus significative se situe sans doute dans le pourcentage de la population âgée de 20 à 59 ans, qui passerait de 53,8% en 2007 à 45,5% seulement en 2070. Cette évolution se produit malgré l'arrivée nette de quelques 100,000 migrants par an sur toute la période de prévisions (ces personnes étant typiquement dans la tranche d'âge des actifs).

L'augmentation de la population résidente et les évolutions de la pyramide des âges de la population se traduisent par une augmentation du nombre de ménages de 0,5% par an en moyenne entre 2007 et 2070, soit une hausse inférieure à celle observée sur le passé (proche de 1% par an) mais toujours positive. En particulier, le nombre de ménages d'une personne augmente sensiblement, ce qui influence les besoins en logement.

Cette population se déplace progressivement vers la façade atlantique et vers le sud, ce qui implique une relative stabilité de la population de certaines régions, et une forte augmentation des besoins en logement dans d'autres régions. Dans le scénario concentration du territoire, l'on suppose que 70% des nouveaux ménages privilégient des appartements, plutôt que des maisons individuelles, et une légère hausse du nombre moyen d'étages par immeuble d'habitation. Cela se traduit par une relative stabilité de la surface occupée par des sols artificialisés (celle-ci passerait de 9,4% en 2010 à 10% en 2070). Le parc d'habitations est par

ailleurs « modernisé » grâce à la construction de nouveaux immeubles d'habitation plus efficaces en ressources, et la rénovation d'une grande partie du parc existant. Cela permet de nouveaux progrès en termes d'efficacité énergétique des logements. Alors que l'efficacité énergétique des logements a augmenté de l'ordre de 1,8% par an au cours de la dernière décennie, les six décennies à venir verraient une augmentation moyenne de l'efficacité énergétique légèrement supérieure à 1% par an, ce qui permettrait de réduire de moitié la consommation énergétique finale des logements¹.

Le module agriculture prévoit une augmentation de la superficie consacrée à l'agriculture, une hausse modérée des rendements des principales cultures agricoles² et une augmentation de la surface dédiée aux agrocarburants, conformément aux objectifs en la matière. Le scénario permet de déduire l'impact de ces évolutions sur l'aménagement du territoire, en termes de superficies de bois et forêts, d'une part, et de prairies, d'autre part. En raison des hypothèses d'évolution des sols boisés et des surfaces toujours en herbe, les transferts entre types d'occupation du territoire se font principalement entre les sols cultivés et les surfaces artificialisées. Dans ce scénario, cela se traduit par une baisse d'un point de la part des sols boisés, et d'un point de la part des sols cultivés dans la surface totale de la métropole. Une fois confrontées aux prévisions de demande (tenant compte des évolutions démographiques), ces projections d'évolution des productions agricoles permettent de déduire l'impact de ces évolutions sur les balances extérieures de la France et le taux de sécurité alimentaire du pays : le scénario « concentration de l'habitat » conduit ainsi au maintien d'un excédent de la balance des échanges pour les céréales à un niveau proche du niveau actuel (ratio exportations/importations proche de 2), une stabilité (ratio proche de 1) pour les produits issus de l'élevage, et une hausse du ratio exportations/importations pour les fruits et légumes : le taux de couverture, actuellement faible (la France importe plus qu'elle n'exporte) aurait ainsi tendance à s'accroître grâce à l'amélioration future des rendements et à l'évolution des surfaces dédiées à cette culture.

Toujours dans le scénario « concentration de l'habitat », les autres secteurs économiques connaîtront une croissance annuelle moyenne de l'ordre de 1,6% (pour l'industrie) et 2,1% (pour les services marchands), avec une évolution moins dynamique pour la construction (1,1% par an en moyenne) et les services administrés (0,6% par an). Cela se traduit par une

¹ Notons que la mesure de l'efficacité énergétique prend en compte uniquement les énergies achetées par unité de logement, et non l'auto-production et auto-consommation d'énergie liée par exemple au recours aux énergies renouvelables (panneaux photovoltaïques, éoliennes privées, etc.)

² L'augmentation prévue est inférieure à celle des scénarios prospectifs Agrimonde décrits dans le premier rapport d'étape.

croissance totale du PIB de 1,7% par an en moyenne entre 2008 et 2070, et une baisse du taux de chômage à 4,2% en 2070 : ce taux de chômage représente le pourcentage de personnes en âge de travailler n'exerçant *aucune* activité : certains actifs peuvent travailler à temps partiel, voire seulement occasionnellement.

Ces évolutions socio-économiques entraînent une hausse de la production d'énergie primaire (pour répondre à la demande interne) de 137,7 MTEP³ en 2008 à 148.4 MTEP en 2030, puis une diminution jusqu'à 140.8 MTEP en 2070 du fait de la poursuite des gains d'efficacité énergétique des différents secteurs et de la montée des énergies renouvelables – y compris non commercialisées. L'intensité énergétique aura encore diminué, aussi bien dans le secteur résidentiel-tertiaire que dans les autres secteurs d'activité, du fait du progrès technologique et de la tendance à la hausse des prix qui incite les agents à réduire les consommations d'énergie par unité produite. En termes de mix énergétique, le scénario suppose une accélération de l'utilisation d'énergies de substitution. La production d'électricité restera largement majoritaire en 2070, mais sa part sera en retrait par rapport à celle de 2010 du fait du taux de pénétration plus important des énergies renouvelable et de la valorisation énergétique des déchets.

La consommation finale d'énergie diminuera progressivement sur la période de prévision, passant de 166,7 MTEP en 2008 à 132,2 MTEP en 2070, avec une diminution relative de la part du pétrole et du gaz naturel, et une hausse du poids des énergies renouvelables et de l'électricité dans le mix énergétique de la consommation finale.

Dans le scénario d'étalement du territoire, l'on suppose que 70% des nouveaux ménages choisissent une maison individuelle, et 30% choisissent un appartement. Dans ce scénario, la superficie occupée par l'habitat passerait de 9,4% en 2010 à près de 20% en 2070, réduisant les superficies pouvant être allouées à l'agriculture. Ainsi, la part des sols cultivés passe de 34% à 25% du territoire. L'évolution des sols boisés est la même que dans le scénario précédent, ce qui signifie que ceux-ci baissent d'un point en part du territoire.

Du fait de la diminution des surfaces cultivées, la production agricole est moins dynamique que dans le scénario précédent, et le taux de couverture de la demande intérieure par la production domestique diminue, dans tous les segments. Par exemple, le ratio de production de maïs sur la demande intérieure tombe de 180% à 120% ; pour les céréales hors maïs, ce ratio passe de 225% environ aujourd'hui à 160% en 2070, et pour les fruits et légumes il tombe sous la barre des 50% à horizon 2070.

³ Millions de tonnes équivalent pétrole

Les prévisions de demande finale et de production d'énergie, et les prévisions relatives aux autres secteurs d'activité économique, n'ont encore été que partiellement chiffrés dans le scénario « Etalement ». En effet, les différences principales entre scénarios dépendent du nombre de kilomètres moyens parcourus par les ménages, et l'impact de l'étalement sur le transport de fret, et par conséquent sur les arbitrages des ménages, à prix de l'énergie constant et budget des ménages a priori contraint. Le bouclage final tiendra également compte de l'estimation de l'impact des deux scénarios sur les besoins en eau, l'objectif étant de proposer deux scénarios suffisamment différenciés en termes de consommations d'eau à horizon 2070.

Dans la deuxième partie du rapport, l'on présente les conséquences du scénario tendanciel et des stratégies d'adaptation au changement climatique sur les prélèvements en eau par les différents acteurs économiques (les ménages et assimilés, l'énergie nucléaire, l'industrie et l'agriculture) à l'horizon 2070.

Les projections ont été réalisées à l'échelle des bassins versants et sont présentées à la fois à cette échelle et à l'échelle nationale.

Les résultats du scénario tendanciel sur les prélèvements en eau

Les prélèvements en 2070 stagnent par rapport à 2006 dans la variante « concentration » de l'habitat, diminuent de 2% dans la variante « étalement » de l'habitat. La baisse des prélèvements d'eau potable dans la variante « étalement » par rapport à la variante « concentration » s'explique par une stagnation des prélèvements pour l'énergie nucléaire.

Evolution des prélèvements d'eau par usage dans le scénario tendanciel

	2006	2070		2006-2070	
		Variante « concentration »	Variante « étalement »	Variante « concentration »	Variante « étalement »
Eau potable (AEP)	5 862	5 171	5 476	-12%	-7%
Industrie	3 279	1 453	1 453	-56%	-56%
Energie nucléaire	15 958	15 958	15 958	0%	0%
Irrigation	3 793	6 313	5 410	66%	43%
Total	28 892	28 895	28 297	0%	-2%
Total hors énergie nucléaire	12 934	12 937	12 339	0%	-5%

Source : Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011 et Energies Demain pour l'agriculture

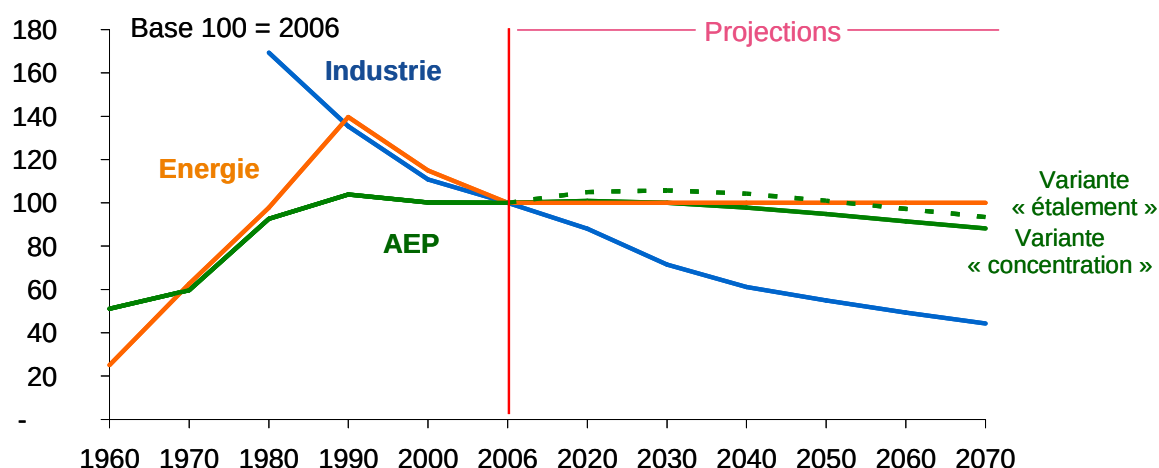
La baisse des prélèvements est beaucoup plus marquée dans l'industrie (-56%) alors que dans l'AEP, la baisse des prélèvements varie entre 12% (variante « concentration ») et 7% (variante « étalement »). Dans l'agriculture, la hausse des prélèvements pour l'irrigation est de l'ordre de 66% dans la variante « concentration » et de 43% dans la variante « étalement ». Les prélèvements d'eau pour l'énergie nucléaire, compte tenu d'un parc identique à celui de

2006, sont identiques à ceux de 2006.

En termes de consommation d'eau, la hausse est de 25% sur la période 2006-2070 dans la variante « concentration » et de 16% dans la variante « étalement ». Cette progression est essentiellement liée à la consommation d'eau pour l'irrigation.

Le graphique ci-après décrit le cheminement de la tendance à la baisse des prélèvements d'eau pour les différents usages à l'exception de l'agriculture à l'horizon 2070 dans le scénario tendanciel.

Evolution des prélèvements d'eau par usage de 1960 à 2006 et projections 2006 à 2070



Source : Etude RNDE sur les prélèvements d'eau en France en 2001, Février 2004 et Projections BIPE 2011

En termes de consommation d'eau, la hausse est de 25% sur la période 2006-2070 dans la variante « concentration » et de 16% dans la variante « étalement ». Cette progression est essentiellement liée à la consommation d'eau pour l'irrigation.

Evolution des consommations d'eau par usage dans le scénario tendanciel⁴

	2006	2070		2006-2070	
		Variante « concentration »	Variante « étalement »	Variante « concentration »	Variante « étalement »
Eau potable	1 466	1 293	1 369	-12%	-7%
Industrie	259	131	131	-50%	-50%
Energie nucléaire	790	790	790	0%	0%
Irrigation	2 276	3 788	3 246	66%	43%
Total	4 790	6 001	5 535	25%	16%
Total hors énergie nucléaire	4 001	5 211	4 746	30%	19%

Source : Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011 et Energies Demain pour l'agriculture

⁴ Concernant les taux de consommation d'eau (consommation / prélèvements), nous avons retenu un taux de 60% pour l'agriculture (Cf. étude RNDE sur les prélèvements d'eau en France en 2001, Février 2004), de 25% pour l'eau potable, autour de 8% pour l'industrie et pour l'énergie nucléaire de 5% en 2006 et de 33% en 2070.

Ces résultats sont sensibles aux hypothèses retenues. Celles-ci ont été posées sur base des tendances passées et validées dans le cadre de consultations des Agences de l'eau.

Pour les prélèvements d'eau potable, la modélisation des prélèvements retient 6 facteurs-clés : les niveaux de consommation par habitant, la démographie, la structure des ménages, le type d'habitat, les taux de consommation d'eau (% / quantités distribuées : par différence, on obtient le pourcentage d'eau qui retourne au milieu), et le rendement des réseaux. Les projections sont réalisées sur la base des évolutions de chacun de ces facteurs dans les deux variantes du scénario tendanciel à stabilité climatique. Les prévisions sont effectuées à l'échelle des bassins versants, les 28 000 points de prélèvements AEP répartis sur toute la France métropolitaine ayant été regroupés par bassin versant. Les prévisions au niveau national s'appuient sur l'hypothèse d'une hausse du nombre de ménages de 40% sur la période 2006-2070, d'une diminution des consommations d'eau par les ménages à un rythme différencié selon le type d'habitat : de -0.3% par an pour l'habitat vertical, et -0.6 % par an en moyenne sur la période 2006-2070 pour l'habitat pavillonnaire, avec un ralentissement progressif de la décroissance à partir de 2020, et d'un taux de rendement primaire des réseaux qui s'améliore de 0,1 à 0,3 point par an entre 2006-2070.

La projection des prélèvements industriels à long terme a été réalisée sur la base de l'évolution de plusieurs variables clés qui dimensionnent les volumes d'eau nécessaires au fonctionnement des usines. Les volumes d'eau de base sont représentés par les prélèvements réalisés en 2006, site par site, tels que renseignés dans la base de données du SOeS (Service de l'Observation et des Statistiques). La modélisation s'articule autour de trois variables : la production industrielle (on considère que les prélèvements en eau sont en partie proportionnels à la production en volume de chaque secteur d'activité), les économies d'eau (sur le passé, on a observé une baisse tendancielle des prélèvements d'eau alors que dans le même temps, la production industrielle en volume augmentait), la nature des circuits de refroidissement : le BIPE a souhaité distinguer les sites industriels dans la base prélèvements du SOeS selon 3 classes de prélèvements qui reflètent a priori, sur la base d'une approche empirique, la nature des circuits de refroidissement (ouvert ou fermé) et le potentiel de réduction des prélèvements : prélèvements de 0 à 300 000 m³ (circuits fermés), prélèvements situés entre 300 000 et 1 million de m³ (circuits mixtes) et prélèvements situés au dessus de 1 millions de m³ par an (circuits ouverts). De ces constats, deux tendances émergent : une baisse moyenne de -2,5% par an des eaux prélevées pour les activités de process, une baisse de -1,4% par an pour les eaux de refroidissement. Au total, cela entraîne une diminution potentielle de - 4,0 % par an. A l'échelle de l'industrie, cette diminution est contrebalancée par l'augmentation de la production en volume qui génère une demande supplémentaire en eau. Le scénario retient la poursuite de la fermeture des circuits de refroidissement et une

amélioration continue des procédés de fabrication de manière à les rendre plus économes en eau. Il n'intègre pas de ruptures technologiques majeures, et ne suppose pas de mutation profonde de l'industrie dans sa structure et ses productions.

Les estimations relatives à l'énergie sont effectuées en supposant le maintien des capacités de production actuelles d'électricité des centrales nucléaires, le surplus éventuel par rapport à la demande étant exporté. Les hypothèses retenues par le MEDDE sont des prélèvements et des consommations d'eau identiques à celle de 2006, soit respectivement 15 958 et 790 millions de m³.

Pour les prélèvements de l'agriculture, 2000 est l'année de base utilisée pour l'analyse et les projections de prélèvements/consommation d'eau ; elle correspond à celle du dernier RGA connu. Les projections de surfaces cultivées par type de culture et par région à l'horizon 2070 dans le scénario tendanciel ont été réalisées selon les deux variantes élaborées par le BIPE. Pour obtenir la demande en eau des cultures, le modèle mis au point par Energies Demain commence par calculer le besoin en eau mensuel de chacune des cultures. Ce besoin en eau des cultures est ensuite comparé aux précipitations sur les surfaces cultivées. Les besoins en eau sont reconstitués à la fois pour les cultures irriguées et les cultures qui ne le sont pas. Si ces précipitations ne sont pas suffisantes pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau des cultures et que la surface est irriguée, alors un apport supplémentaire par irrigation est nécessaire. Le volume d'eau qui est effectivement apporté pour l'irrigation dépendra ensuite de l'efficacité du système d'irrigation. Pour un système d'irrigation très efficace (goutte à goutte) le volume apporté sera proche de la différence entre les besoins en eau des cultures et les précipitations, mais pour certains systèmes beaucoup moins efficace (irrigation gravitaire) le volume apporté peut être jusqu'à deux fois supérieurs à celui effectivement nécessaire pour compléter les besoins en eau des cultures.

Impacts des stratégies d'adaptation sur les prélèvements en eau

Suite à l'évaluation des impacts du changement climatique, un groupe de travail élargi a été mis en place (CGDD, ONERC, ONEMA, agences de l'eau, MAAF, EDF, INRA, société du canal de Provence, etc.) afin de mener une réflexion commune sur les stratégies d'adaptation à tester à l'aide du modèle développé dans le cadre du projet.

Les trois stratégies d'adaptation et les deux hypothèses énergétiques proposées par le groupe de travail sont résumées dans le tableau ci-après.

Stratégies d'adaptation et hypothèses énergétiques

3 stratégies d'adaptation 2 hypothèses énergétiques pour chaque stratégie	Stratégie d'adaptation 1 (S1) Sobriété dans les usages de l'eau	Stratégie d'adaptation intermédiaire (SI)	Stratégie d'adaptation 2 (S2) Augmentation des besoins en eau
Energie (E1) Maintien de la production du nucléaire au niveau actuel : 70% de la production totale d'électricité	AEP/Industrie Par rapport au scénario central : - Fuites dans les réseaux réduites à 15% dans tous les bassins versants ayant un taux supérieur à 15% - Réduction des consommations d'eau par ménage de 20% - Réduction des consommations d'eau par l'industrie de 20%		AEP/Industrie Hypothèses scénario tendanciel
Energie (E2) Réduction de la part du nucléaire dans la production totale d'électricité à 50% d'ici 2050	Agriculture Conversion de 100% du maïs irrigué en : 50 % céréales sèches, 30% blé irrigué, 10% soja irrigué et 10% céréales irriguées	Agriculture Conversion de 50% du maïs irrigué en : 25 % céréales irriguées et 25 % céréales sèches Conversion de 20% du blé tendre sec en blé tendre irrigué au nord de la Loire	Agriculture Conversion de 20% du blé tendre sec en blé tendre irrigué au nord de la Loire Augmentation jusqu'au double au maximum de toutes les superficies irriguées au sud de la Loire

La combinaison des différentes hypothèses énoncées dans le tableau ci-dessus pour les stratégies d'adaptation S1 et SI avec les évolutions démographiques et avec les deux variantes d'implantation de l'habitat, aboutit à un niveau de prélèvement d'eau potable :

- pour la variante concentration de l'habitat, de 3 935 millions de m³ contre 5 171 millions de m³ pour le scénario « concentration », soit une économie de 1 236 millions de m³ ;
- pour la variante concentration de l'habitat, de 3 960 millions de m³ contre 5 476 millions de m³ pour le scénario « concentration », soit une économie de 1 516 millions de m³.

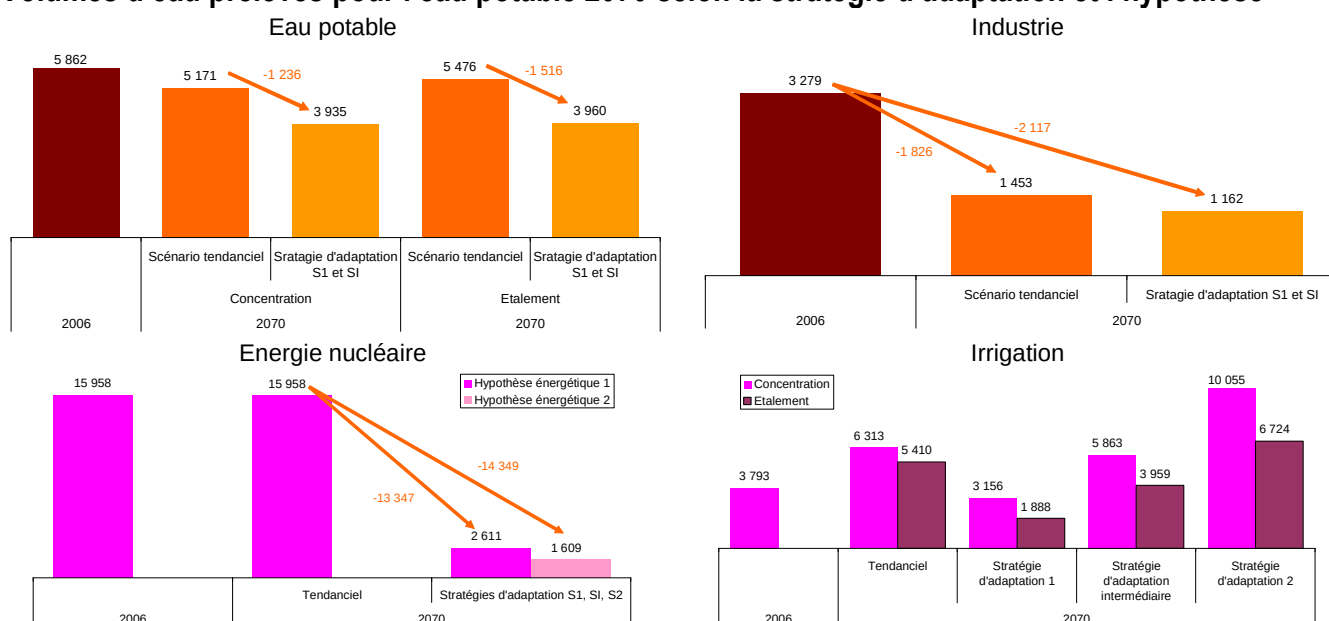
Au cours de la période 2006-2070, l'augmentation des prélèvements d'eau potable est de 40% sous l'effet de la croissance du nombre de ménages. Cette progression est contrebalancée :

- pour la variante concentration, par les économies d'eau réalisées par chaque ménage (effets technologique et comportemental) de -43% pour les stratégies d'adaptation S1 et SI (-29% pour le scénario tendanciel) auxquelles s'ajoute l'amélioration du rendement des réseaux, qui s'accompagne d'une baisse de 16% (-11% pour le scénario central) ; des prélèvements ;
- pour la variante étalement, par les économies d'eau réalisées par chaque ménage (effets technologique et comportemental) de -40% pour les stratégies d'adaptation S1 et SI (-25% pour le scénario tendanciel) auxquelles s'ajoute l'amélioration du rendement des réseaux, qui s'accompagne d'une baisse, plus importante que pour la variante concentration, de 20% (-11% pour le scénario central).

Au total, au cours de la période, les prélèvements d'eau potable diminuent d'environ 32%

quelque soit le type d'habitat dans les stratégies d'adaptation S1 et SI.

Volumes d'eau prélevés pour l'eau potable 2070 selon la stratégie d'adaptation et l'hypothèse



Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011 et Energies Demain pour l'agriculture

Les prélèvements d'eau par l'industrie devraient baisser de 1,6% par an en moyenne entre 2006 et 2070 pour les stratégies d'adaptation S1 et SI (1,3% dans le scénario tendanciel), passant de 3 279 millions de m³ en 2006 à 1 162 millions de m³ en 2070 (1 453 millions de m³ dans le scénario tendanciel).

L'hypothèse énergétique 1 « maintien de la production du nucléaire au niveau actuel (70% de la production totale d'électricité) et l'hypothèse énergétique 2 « réduction de la part du nucléaire dans la production totale d'électricité à 50% d'ici 2050) s'appuient sur une réduction du nombre de sites de centrales de 19 à 13, une fermeture des centrales sur la Garonne, de la Vienne et du Rhin, un maintien des centrales sur la Seine, la Meuse et la Moselle, un regroupement de capacités sur la Loire, le Rhône et le Rhin, et la fermeture des circuits de refroidissement sur toutes les centrales. Le nombre de centrales disponibles en 2005 devra garantir une puissance installée totale pour satisfaire l'objectif de production d'électricité nucléaire fixé par chacune des hypothèses énergétiques. Dans ce cadre, les prélèvements d'eau par les centrales nucléaires projetés à l'horizon 2070 sont de 2,6 milliards de m³ pour l'hypothèse énergétique 1 et de 1,6 milliards de m³ pour l'hypothèse énergétique 2, contre 16 milliards de m³ en 2006.

Compte tenu des choix en termes d'assolements, les prélèvements d'eau pour l'irrigation sont très contrastés selon la stratégie privilégiée, ce contraste étant accentué par les choix

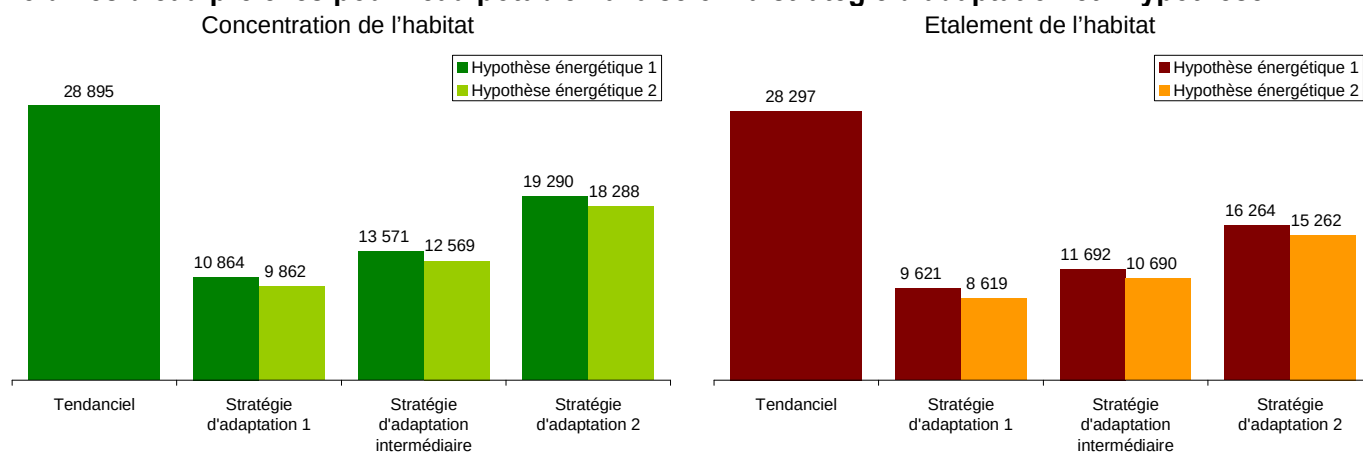
d'occupation de l'espace par l'habitat (concentration vs étalement). Au total, selon la stratégie mise en œuvre, les prélèvements d'eau par rapport au scénario tendanciel :

- sont, pour la variante « concentration », en diminution de 3,1 milliards de m³ pour S1, quasi stable pour SI mais en hausse de 3,8 milliards pour S2 ;
- sont, pour la variante « étalement », en diminution respectivement de 3,5 milliards de m³ et de 1,4 milliards de m³ pour S1 et SI mais en hausse de 1,3 milliards pour S2.

Néanmoins, les prélèvements d'eau pour l'irrigation sont systématiquement inférieurs dans la variante « étalement » par rapport à la variante « concentration » : les écarts étant de -1.3 milliards de m³, -1,9 pour SI et -3,4 pour S2.

La somme des prélèvements des différents usages pour chaque stratégie d'adaptation, comme le montre le graphique ci-dessous, sont en baisse quelque soit la variante d'occupation de l'espace (concentration vs étalement) mais avec un recul plus important pour la variante « étalement » du fait de l'irrigation.

Volumes d'eau prélevés pour l'eau potable 2070 selon la stratégie d'adaptation et l'hypothèse



Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011 et Energies Demain pour l'agriculture

2. INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats des travaux conduits par le BIPE dans le cadre de la mission prospective « Explore 2070 ».

L'objectif du Lot 7 « Prospective : scénarios d'évolution démographique et socioéconomique », confié au BIPE, est de :

- Evaluer les tendances lourdes à l'œuvre en termes démographiques et socioéconomiques à horizon 2070 (soit une projection de 60 ans) et identifier les ruptures à attendre en matière de facteurs démographiques et sociétaux ;
- Définir et quantifier un scénario tendanciel de stabilité climatique (c'est-à-dire, sans prise en compte des effets du changement climatique) ; le scénario doit faire l'objet d'un chiffrage sur plusieurs dimensions : économie, démographie, habitat, environnement, ressources ;
- Mesurer l'impact sur la croissance économique et les équilibres sociétaux de la mise en œuvre de mesures d'anticipation et de préparation du changement climatique. Pour ce faire il s'agira de définir, en accord avec le commanditaire et les autres partenaires du projet, une série de « mesures d'adaptation » à envisager pour préparer et anticiper les changements. Ces mesures seront ensuite intégrées dans un modèle permettant d'en chiffrer les impacts.

Une recherche bibliographie a été réalisée et a fait l'objet d'un rapport présentant une synthèse d'études prospectives susceptibles d'apporter des éléments d'éclairage sur certaines hypothèses qu'à poser par le BIPE dans le cadre de sa mission. Elle comprenait également quelques éléments de méthodologie, visant à décrire les différents modules du système de modélisation qui a été utilisé pour quantifier les différents scénarios.

Ce rapport présente le système de prévision des besoins en eau des ménages, de l'énergie nucléaire, de l'industrie et de l'agriculture. Il détaille les hypothèses formulées pour chacun des secteurs dans le scénario tendanciel à stabilité climatique, et présente les résultats obtenus dans le cadre de ce scénario tendanciel, dans chacune des deux variantes d'occupation de l'espace (densification de l'habitat, et étalement de l'habitat).

Les projections sont effectuées sur trois échelles géographiques : l'échelle nationale, pour l'ensemble des variables, afin de situer la France dans le contexte international futur, sur un ensemble de dimensions telles que l'agriculture, la démographie et l'habitat ; l'échelle des régions, pour les évolutions socio-économiques ; et, l'échelle des bassins versants, pour les consommations d'eau et l'évaluation des pressions anthropiques.

3. LE MODELE SOCIO-ECONOMIQUE

3.1. LES BESOINS

L'objectif du Lot Prospective étant de déterminer les conséquences des évolutions démographiques, socio-économiques et climatiques sur les pressions anthropiques et les besoins en eau, le système de modélisation a permis de quantifier :

- Les évolutions démographiques (qui influenceront, directement et indirectement, les besoins en eau) ;
- La répartition des populations sur le territoire (idem) ;
- L'activité par secteur, avec une désagrégation sectorielle permettant de mettre en évidence les évolutions des secteurs intensifs en eau ;
- Les besoins en énergie, pour permettre d'en tirer les conséquences sur le système énergétique (besoin de nouveaux barrages ou construction de nouvelles centrales nucléaires, par exemple) ;
- Les évolutions des transports, qui, même s'ils ne sont pas intensifs en eau, influencent la demande d'énergie, ce qui impactera indirectement l'évolution de la ressource eau ;
- Les conséquences de ces évolutions sur les besoins en eau, et sur les pressions anthropiques.

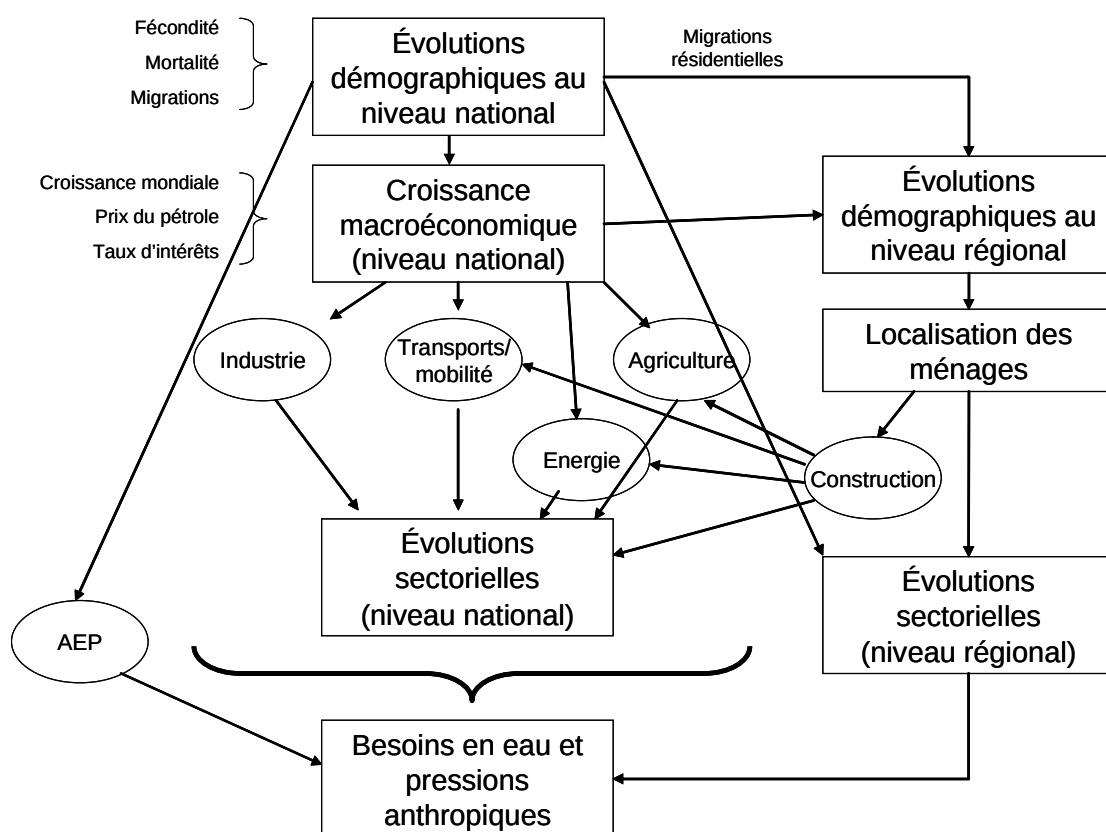
Les prévisions ont été effectuées sur deux échelles géographiques : l'échelle nationale, pour l'ensemble des variables, afin de situer la France dans le contexte international futur, sur un ensemble de dimensions telles que l'agriculture, la démographie et l'habitat ; l'échelle des régions, pour les évolutions socio-économiques, et l'échelle des bassins versants, pour les consommations d'eau et les pressions anthropiques.

Les familles de variables ci-dessus ont fait l'objet de plusieurs modules, ou parties de modèles, inter-reliés, permettant à la fois d'intégrer les résultats issus d'autres Lots, et de communiquer aux autres Lots les informations relatives au contexte socio-économique dont ils ont besoin.

3.2. APERÇU GENERAL DU SYSTEME DE MODELISATION

Le graphe ci-après donne un aperçu général de la structure du système de modélisation et des liens entre les différents modules. Chaque module est décrit spécifiquement dans les chapitres qui suivent.

La structure du modèle socioéconomique d'Explore 2070



Ainsi:

- Le contexte économique général dans le monde influence les évolutions macro-économiques en France ;
- Les hypothèses démographiques impactent les structures de population au niveau régional, et les besoins en logements ;
- Les évolutions macro-économiques et démographiques influencent les évolutions sectorielles. Les évolutions du secteur agricole, du secteur de la construction et de l'activité de transport (secteur de transport + mobilité individuelle), ainsi que les

évolutions en matière de parc de logements, déterminent la demande d'énergie, par type de carburant.

- Compte tenu du niveau de la demande d'énergie par type de carburant, on en déduit les évolutions en termes de capacité d'offre, et de commerce extérieur.
- L'ensemble de ces évolutions influence, secteur par secteur, les besoins en eau et les pressions anthropiques sur les territoires, au niveau régional.



3.3. LES DIFFERENTS MODULES

3.3.1. LE MODULE SOCIODEMOGRAPHIQUE

3.3.1.1. LA DEMOGRAPHIE

A horizon de 20 à 30 ans, les projections démographiques sont généralement considérées comme étant assez robustes, ou « relativement » peu incertaines. Cette robustesse tient au fait que la majorité des générations projetées est déjà née au moment où la prévision est réalisée, et que l'on connaît les principales caractéristiques des personnes qui composent ces générations. Il en est autrement à l'horizon 2070, car un peu moins du tiers de la population résidant en France actuellement sera encore présente à cet horizon.

Si l'inertie des phénomènes démographiques est généralement assez importante, il n'en va pas de même pour les facteurs d'ordre sociologique et/ou comportementaux : quels seront les modes de cohabitation dans 60 ans, les comportements de mobilité géographique, les modes de transport utilisés, les types d'habitats, etc. ? Si quelques « signaux faibles⁵ » émergent dès à présent, il n'en reste pas moins que les évolutions comportementales sont difficiles à prévoir au-delà d'un horizon de temps plus ou moins court (10-20 ans pour certains, 30 ans pour d'autres) et que leur extension à horizon de 60 ans pourra devoir faire l'objet de scénarios. C'est par exemple le cas des choix de localisation futurs des ménages et du type d'habitat : concentré ou au contraire très étalé ?

Dans cette étude, **les prévisions démographiques présentées correspondent à une vision « consensuelle » des tendances futures.** Ces prévisions s'appuient sur les travaux de l'INSEE à horizon 2060 et prolongent les tendances à horizon 2070.

Les quatre points à aborder pour prévoir l'évolution des populations et leur répartition territoriale sont :

- la **fécondité** : les femmes françaises continueront-elles à avoir 2 enfants en moyenne au cours de leur vie féconde ou bien va-t-on assister à un changement de comportement, à l'image de ce qu'on peut par exemple observer aujourd'hui en Allemagne ?
- la **mortalité** : la courbe de survie va-t-elle continuer à se « rectangulariser », avec une concentration importante des décès autour d'un certain âge, ou bien les gains

⁵ On entend par « signal faible » une tendance émergente aujourd'hui mais susceptible de prendre de l'importance au cours des 60 prochaines années.

d'espérance de vie aux âges extrêmes vont-ils croître – ou éventuellement diminuer en raison de la montée de comportements « à risque » des générations présentes et de la fréquence plus grande de pathologies telles que le diabète, l'asthme ou simplement l'obésité⁶ ?

- les **migrations externes** : comment vont évoluer les flux nets d'entrée depuis l'extérieur de la France, sachant qu'à l'horizon étudié, les migrations climatiques sont susceptibles de s'ajouter aux migrations économiques traditionnellement enregistrées ?
- les **migrations internes** : passés les déplacements massifs de néo-retraités de la génération *baby-boom* après les années 2030-2040, les régions bénéficieront-elles toujours de la même manière des échanges au sein du territoire français ?

Au niveau national, seuls les trois premiers points sont pertinents. Des hypothèses ont été faites concernant chacun de ces trois éléments, sur la base de la revue de littérature. Ces hypothèses permettent, comme on le verra dans le chapitre suivant, de prévoir le nombre d'habitants à horizon 2070 et leur répartition par tranche d'âge (donnée importante pour apprécier l'évolution de la population active).

Au niveau régional, l'attention doit se porter sur les *migrations internes*. Ce facteur joue un rôle clé car il explique l'essentiel des évolutions démographiques observées dans la plupart des régions (jusqu'à 80% dans certaines d'entre elles). Ce sont aussi ces phénomènes migratoires qui expliquent une part importante des **créations d'activité**, notamment dans les secteurs de services : en effet, dans ces secteurs, les déplacements de population créent ou détruisent des emplois.

Concernant la construction de scénarios démographiques à l'échelle **régionale**, il est nécessaire, dans un premier temps, de connaître la dynamique passée. Sur ce point, le BIPE a développé depuis le début des années 2000 un modèle d'analyse des migrations résidentielles régionales (modèle MASP©) qui a permis de démontrer l'influence de paramètres comme le niveau d'emploi, l'offre universitaire, les infrastructures, le climat. En effet, les flux d'arrivée et de départ ne concernent pas les mêmes populations, en termes d'âge et de catégorie socioprofessionnelle. L'analyse du passé, même si elle est effectuée sur un horizon plus court que l'horizon de projection de l'étude, permet d'éviter de passer à côté d'éventuels facteurs de rupture.

⁶ Le BIPE a réalisé une étude prospective sur l'état de santé des français à horizon 2030, pour l'INPES, qui a apporté quelques éléments intéressants dans le cadre de cette étude.

3.3.1.2. EVOLUTION DU NOMBRE DE MENAGES

Enfin, il faut répartir la population au sein de ménages : **c'est en effet du nombre de ménages, et non des évolutions démographiques en tant que telles, que dépendent les évolutions du nombre de logements** et le cas échéant les types de logements.

Les 30 dernières années ont vu l'émergence de phénomènes agissant en profondeur, tels la hausse de la divortialité, l'augmentation de la durée des études, la propension croissante à vouloir vivre seul aux âges jeunes et aux âges intermédiaires, etc. Sur la base d'études rétrospectives, complétée par les enseignements tirés de la recherche bibliographique et en particulier des travaux de l'INSEE, le BIPE a fait différentes hypothèses d'évolution à long terme des déterminants, que sont le nombre de ménages, la taille moyenne des ménages et leurs caractéristiques.

Au final, dans le bloc socio-démographique, les **variables d'entrée** sont :

- Les hypothèses relatives au taux de fécondité ;
- Les hypothèses relatives au taux de mortalité ;
- Les hypothèses relatives aux migrations nettes (ces dernières étant susceptibles de varier d'un scénario climatique à l'autre, pour tenir compte des « migrations climatiques) ;
- Les hypothèses relatives aux migrations résidentielles.

Et les **variables de sortie** sont :

- Le nombre d'habitants, et la répartition par tranche d'âge : 0-15 ans, 15-25, 25-55, 55-65 et 65+, au niveau national ;
- Le nombre d'habitants par région et leur répartition par tranche d'âge ;
- Le nombre de ménages, au niveau national et par région ;
- Le nombre moyen de personnes par ménage, au niveau national et par région ;
- L'évolution de la population en âge de travailler (conventionnellement définie par la tranche des 15-65 ans) ;
- Les taux de densité de population, au niveau national et régional.

3.3.2. LE MODULE DE REPARTITION TERRITORIALE DE L'HABITAT

Une fois définie la population par région, par tranche d'âge et la structure des ménages, le deuxième module a pour vocation de **répartir les populations régionales selon le type d'habitat : maisons individuelles ou habitat concentré dans des zones urbaines et/ou**

zones péri-urbaines ?

La répartition des ménages par type d'habitat est effectuée en fonction de ce qui paraît discriminant pour projeter les consommations en eau par catégorie de ménage, et pour poser des hypothèses sur les comportements de mobilité à horizon 2070. L'intérêt de connaître le type d'habitat privilégié par les différentes catégories de ménages est de pouvoir ensuite chiffrer :

- des consommations moyennes en eau spécifiques à chaque catégorie,
- des comportements de mobilité spécifiques à chaque catégorie.

En effet, le nombre de km annuels moyens parcourus par les ménages, et les modes de transport qu'ils utilisent dépendent de la zone d'habitation (transport en commun ou véhicule automobile ?) et de la structure du ménage (l'essentiel des déplacements étant lié aux déplacements domicile travail).

Les ménages retraités se déplacent donc nettement moins, et l'augmentation de leur poids dans la population totale à horizon 2030-2040 réduira les besoins de mobilité à cet horizon. De même, les développements des transports en commun ont considérablement réduit l'usage de l'automobile en ville, ce qui, combiné aux progrès en termes d'efficacité énergétique des véhicules, ralentit fortement la croissance des consommations de carburants, dont la demande d'énergie. Selon les évolutions futures des types de ménages et leur localisation, on pourrait observer soit une poursuite de la hausse des consommations d'énergie dans les transports, soit une inversion de tendance par rapport aux dernières décennies.

Le module de répartition des populations par région a été construit sur la base d'hypothèses relatives aux choix des ménages entre appartement ou maison unifamiliale, et tient compte du parc existant de logements dans chaque région, et des taux de vacances.

Les variables de sortie du module habitat incluent les superficies occupées respectivement par l'habitat et les autres zones artificialisées, afin d'en déduire le pourcentage du territoire disponible pour l'agriculture ou occupée par des prairies ou forêts.

3.3.3. LE MODULE DE CROISSANCE ECONOMIQUE

3.3.3.1. DEFINITION DE LA CROISSANCE POTENTIELLE

Le troisième grand bloc du modèle définit le module de croissance macro-économique de long terme.

Partant d'hypothèses relatives à la croissance démographique et aux taux d'activité par âge, l'on définit une « **offre potentielle de travail** » à horizon 2070. En parallèle, les hypothèses relatives aux évolutions dans le reste du monde et aux taux d'intérêts permettent de définir une hypothèse **d'évolution du stock de capital**. De plus, compte tenu de l'horizon de prévision retenu, nous intégrons une variable mesurant la disponibilité de ressources énergétiques, variable mesurée par les prévisions d'évolution de la production mondiale de pétrole. A partir de ces trois variables clés, une fonction de production Cobb Douglas à rendements décroissants permet de prévoir la croissance potentielle sur différentes sous périodes (par pas de 10 ans).

Le principal objectif est de déterminer l'évolution future de la productivité qui résulte de cette fonction de production, celle-ci étant susceptible de varier sur le long terme. En cas de besoin, cela peut donner lieu à un ajustement des perspectives de croissance au-delà de 2030, puis entre 2050 et 2070.

3.3.3.2. LE MODULE SECTORIEL AU NIVEAU NATIONAL

La croissance potentielle totale définie, la deuxième étape consiste à répartir cette production par grands secteurs. La désagrégation sectorielle retenue est la suivante :

- Agriculture, subdivisée en différents sous-secteurs comme indiqué plus loin
- Energie, au niveau France cette fois, subdivisée en différents segments par type d'énergie
- Industrie de biens d'équipements
- Industrie de biens de consommation
- Industries de biens intermédiaires
- Construction
- Tourisme
- Transports marchands
- Autres services

Les prévisions sectorielles au niveau national portent sur le niveau de production et de valeur ajoutée à prix constants (prix 2000) et l'emploi au niveau national.

Certains secteurs sont détaillés plus spécifiquement, comme indiqué ci-après.

Le module sectoriel a été construit sur la base de tableaux entrée-sortie évolutifs, de manière à tenir compte des interrelations entre secteurs et du progrès technologique. Il a servi surtout :

- Dans le scénario tendanciel, à valider les équilibres globaux ;
- Dans les autres scénarios, à chiffrer l'impact de ces scénarios sur les secteurs.

Ce n'est donc pas un modèle de « prévision » en tant que tel, mais plutôt un modèle de simulation et de quantification de scénarios alternatifs, de chocs et de ruptures.

Le modèle de prévision sectoriel est construit selon le principe du modèle DIVA, c'est-à-dire que, partant de prévisions macroéconomiques de long terme conformes aux évolutions données par la fonction de production, il répartit ces évolutions entre les grands secteurs en fonction des avantages comparatifs de la France dans ces secteurs, et des liens inter-sectoriels. Le processus est le suivant : partant d'une prévision du PIB, et de ses composantes (consommation privée, consommation publique, investissements, exportations, importations), chacune de ces variables impulse une demande aux autres secteurs. Chaque secteur est ainsi confronté :

- A un certain niveau de demande finale (interne et à l'export) ;
- A la demande d'autres secteurs, pour leur permettre à eux-mêmes de répondre à la demande finale (par exemple, le verre est utilisé en direct par les ménages mais aussi de manière indirecte dans les secteurs automobile, construction, etc.).

Bien évidemment, ce qui n'est pas produit en France peut faire l'objet d'importations, d'où la prise en compte, dans l'analyse, de la demande finale interne après déduction des importations – ces dernières représentant une fraction évolutive de la demande intérieure finale.

Notons que, dans ce dispositif, l'évolution du secteur agricole a été « exogénéisée », dans la mesure où ce secteur a fait l'objet d'un traitement spécifique comme expliqué plus loin.

Les simulations ont été faites par pas de 20 ans (soit : 2030, 2050, 2070), et intègrent une évolution des coefficients techniques reflétant l'évolution des organisations sectorielles et des grandes spécialisations régionales des productions. L'évolution des coefficients s'appuie sur l'analyse des tendances passées et est calée, dans le scénario tendanciel de stabilité

climatique, sur les résultats des analyses prospectives conduites par ailleurs, et les résultats des études prospectives traitant de l'impact du progrès technologique sur les processus de production. En termes d'activité, le scénario tendanciel est donc construit de façon ad hoc sur base des études prospectives existant par ailleurs et des hypothèses posées à horizon 2070, conformément au déroulé de « l'histoire » de la France et du monde que l'on a choisi de raconter sur cette période. A titre d'exemple, l'évolution du tourisme est décrite dans le scénario tendanciel en tenant compte des évolutions de la croissance démographique et du niveau de vie dans le monde, de la vision que l'on s'est fait de l'attractivité relative de la France comme destination touristique à cet horizon, et du développement d'autres destinations touristiques aujourd'hui peu populaires (notamment en Asie ou en Afrique). La description des évolutions futures du secteur de la construction s'appuiera sur les hypothèses de croissance démographique, et sur les hypothèses que l'on a faites sur les taux de rénovation ou de démolition de bâtiments, sur les migrations résidentielles et donc la désaffectation de certaines zones aujourd'hui construites, au profit d'autres à développer, etc.

Certains secteurs ne sont toutefois pas uniquement dépendants des évolutions macroéconomiques et de la croissance des autres secteurs. Ainsi, le module « énergie » a pour vocation de détailler les évolutions de la demande et de l'offre d'énergie, comme indiqué plus loin. De même, le module « agriculture » permet de prévoir les évolutions de ce secteur sur un niveau sectoriel plus fin, puis d'agréger ces évolutions par segment pour définir le total du secteur.

Au final, **les données d'entrée** de ce module sectoriel sont la croissance macroéconomique, scindée en consommation privée, consommation publique, investissements, commerce extérieur. Les **variables de sortie** sont :

- Le niveau de production et de valeur ajoutée de chaque secteur, et leur taux de croissance sur des pas de 20 ans (de 2010 à 2030, de 2030 à 2050 et de 2050 à 2070) ;
- L'emploi, fonction du niveau d'activité et de la productivité du secteur. L'emploi total dans l'économie est égal à la somme des emplois sectoriels. Cet emploi total est ensuite confronté à la population active afin d'en déduire le niveau de chômage et de valider la cohérence des hypothèses relatives aux taux d'activité par tranche d'âge.

3.3.3.3. LE MODULE SECTORIEL AU NIVEAU REGIONAL

La répartition des niveaux d'activité sectorielle sur l'ensemble du territoire de la métropole, aux niveaux d'activité par secteur et par région, est effectuée par le biais du modèle DIVA-Régions décrit précédemment et adapté à la nomenclature sectorielle utilisée ici (moins

détaillée que celle de DIVA-Régions).

A nouveau, l'agriculture est traitée de manière ad hoc, comme indiqué plus loin. De même, la répartition de la production et distribution d'énergie tiennent compte des résultats des analyses spécifiques relatives à ce secteur.

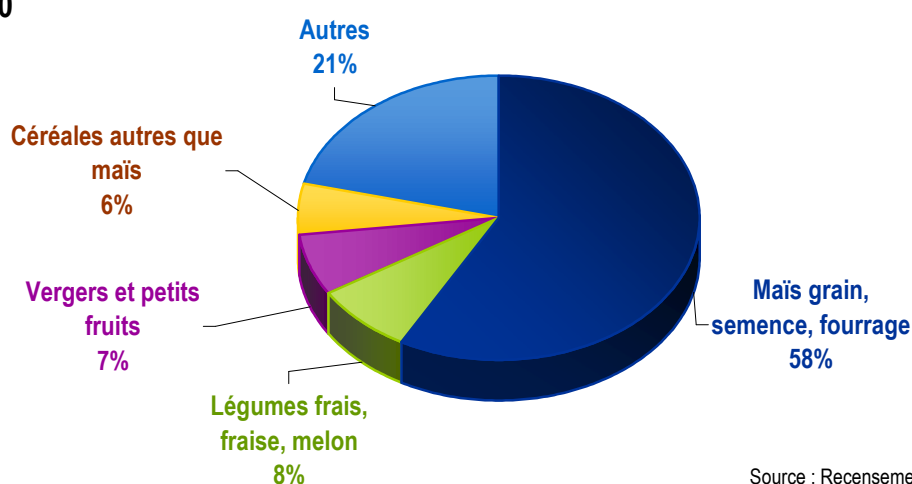
Dans chaque région, les évolutions sectorielles dans l'industrie dépendent donc notamment de l'évolution des degrés de spécialisation des régions dans les différents secteurs. Dans les services et la construction, la répartition sectorielle de l'activité sur le territoire dépend en outre des évolutions démographiques, ces deux secteurs étant particulièrement « tirés » par la demande des ménages (directe ou induite).

3.3.4. LE MODULE RELATIF A L'AGRICULTURE

3.3.4.1. SEGMENTATIONS DES PRODUITS AGRICOLES ISSUS DE LA CULTURE

Le réchauffement climatique devrait entraîner une moindre disponibilité des ressources en eau dans certaines régions en France. La segmentation retenue pour l'analyse de l'évolution de l'agriculture à l'horizon 2070 tient donc compte des besoins en eau des différentes cultures. A cet égard, le maïs, les fruits et légumes, et les autres céréales (principalement du blé) revêtent une importance particulière, puisque ces cultures comptent pour 79% des surfaces agricoles irriguées en France. Les surfaces irriguées représentent au total environ 5% de la superficie agricole utilisée en France. (Source Teruti-Lucas).

Répartition des surfaces agricoles irriguées en France par type de culture en 2000



Source : Recensement agricole, 2000

Malgré sa faible importance en surface, la vigne est également prise en compte en raison de

son importance économique, en particulier dans les échanges commerciaux de la France avec l'étranger.

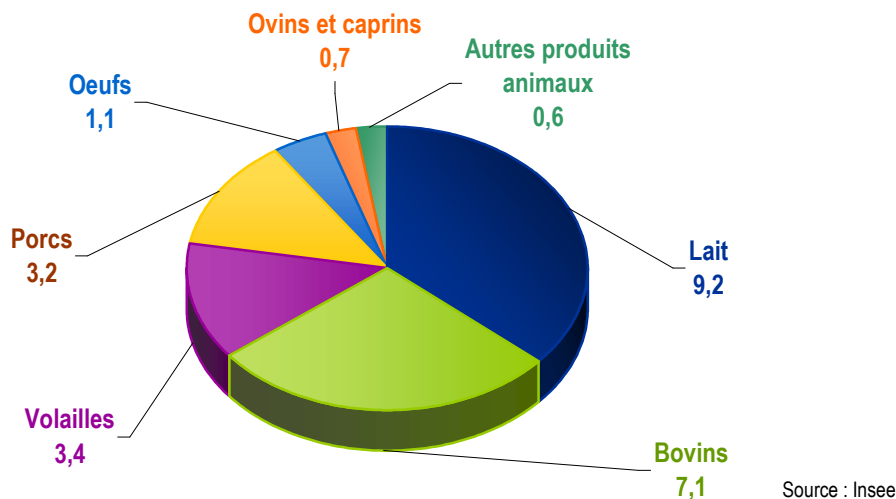
Segmentation retenue pour les produits agricoles issus de la culture

Segments
Blé et autres céréales (hors maïs)
Maïs
Fruits et légumes
Vin

3.3.4.2. SEGMENTATIONS DES PRODUITS AGRICOLES ISSUS DE L'ELEVAGE

La segmentation des produits agricoles issus de l'élevage a été effectuée en fonction de l'importance de leur production. L'aquaculture continentale a également été retenue, en raison de l'évolution à prévoir sur cette catégorie suite à une diminution probable des ressources marines halieutiques.

Principales productions animales en France en 2008, en milliards d'euros



Segmentation retenue pour les produits agricoles issus de l'élevage

Segments
Viande bovine
Viande de porc
Volailles et dinde
Lait
Aquaculture continentale

3.3.4.3. SEGMENTATIONS DES PRODUITS NON AGRICOLES

En plus des segments mentionnés dans les paragraphes précédents, trois catégories complémentaires sont suivies : le bois, et l'industrie agro-alimentaire qui comprend la fabrication des boissons – intensive en eau - et l'industrie agro-alimentaire hors boissons.

Segmentation des produits non agricoles

Segments
Bois
Boissons
Industrie agro-alimentaire hors boissons

Le tableau qui suit présente les variables qui seront effectivement prévues.

Indicateurs retenus

Indicateurs
Surface en hectare (pour les produits issus de la culture et le bois)
Cheptel en tête (pour les produits issus de l'élevage)
Production annuelle, en volume et en valeur
Marché intérieur, en volume et en valeur
Echanges commerciaux avec l'étranger, en volume et en valeur

Axes d'analyse

Axes d'analyse
Par région
Par année

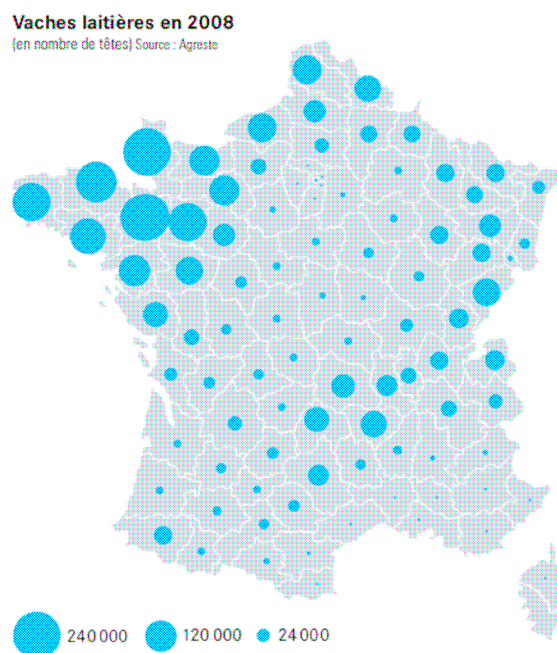
Ces variables sont exprimées en unités physiques. Un indicateur de valeur moyenne a été utilisé pour convertir ces unités physiques en production en euros constants, pour l'année 2070 (par pas de 20 ans).

La valeur ajoutée totale dans l'agriculture est alors égale à la moyenne pondérée de la valeur moyenne des productions par segment, et l'emploi dans le secteur agricole est estimé sur la base d'une hypothèse d'évolution de la productivité moyenne du secteur.

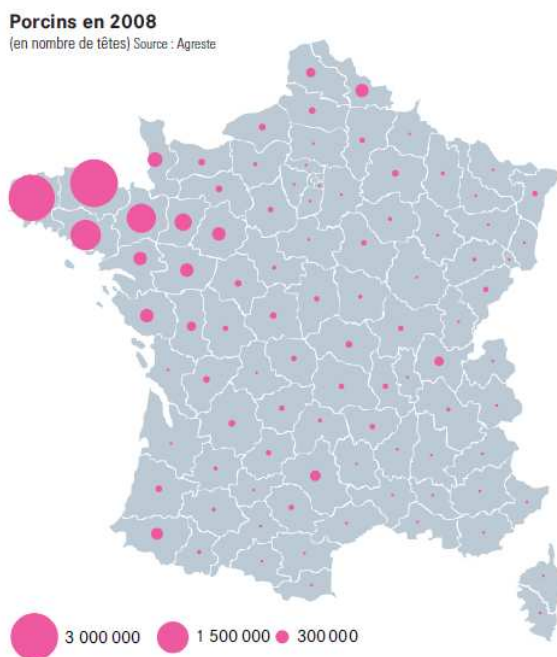
La répartition des productions agricoles sur le territoire national a fait l'objet de clés de répartition basées sur les cartes suivantes pour 2010 (et ce, pour l'ensemble des segments traités) et sur des hypothèses relatives à l'évolution de ces clés de répartition à horizon 2070, compte tenu des évolutions de l'habitat, de l'évolution des conditions climatiques et des

mesures d'anticipation.

3.3.4.4. REPARTITION DES VACHES LAITIÈRES SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS EN 2008



3.3.4.5. REPARTITION DES PORCINS SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS EN 2008



3.3.5. LE MODULE TRANSPORT ET MOBILITE

Le quatrième bloc a trait à l'évolution future de la mobilité et des conséquences sur les transports. Le secteur des transports est important compte tenu de son intensité en énergie, secteur dont les évolutions sont déterminantes pour le calcul des besoins futurs en eau, et des conséquences du changement climatique sur l'eau.

L'objectif étant de modéliser les besoins en énergie des transports plutôt que l'activité marchande du secteur, la désagrégation retenue est la suivante :

- Transport automobile, en passagers. kilomètres et tonnes kilomètres pour les poids lourds ;
- Autres transports.

Les **variables d'entrée** de ce module sont :

- Le nombre moyen de km parcouru par un ménage annuellement, par tranche d'âge du chef de famille et par zone de résidence (urbain dense ou autres) ;
- Le taux moyen d'occupation des véhicules ;
- La structure du parc de véhicules, par type de motorisation : électrique, thermique, hybride, notamment.

Les **variables de sortie** sont :

- Le nombre de véhicules km, qui dépend du taux moyen d'occupation des véhicules, du nombre moyen de km par personne. Le nombre moyen de km par personne dépend du nombre de personnes par tranche d'âge et par zone de résidence (urbain dense, péri-urbain, rural) et du nombre moyen de km qu'ils parcourront en moyenne à horizon 2070 – chiffre susceptible de varier selon qu'ils vivent en zone urbaine dense ou en zone d'habitat peu dense ;
- La demande d'énergie pour le transport par VP (voiture particulière) ;
- Les consommations d'énergie liées au transport de fret, fonction de l'évolution des trafics et des volumes transportés.

Ces données alimentent le module énergie.

Au-delà de ces évolutions, l'on a projeté l'activité du secteur transport en termes de valeur ajoutée à prix constants, pour assurer la cohérence globale des prévisions sectorielles et des

prévisions de croissance au niveau macro-économique. Les projections du secteur des transports en termes de production et de valeur ajoutée à prix constants issues de DIVA ont été donc ajustées autant que de besoin pour refléter l'évolution de la partie « marchande » des trafics – notamment l'évolution du fret et des transports en commun.

3.3.6. LE MODULE ENERGIE

Les consommations finales d'énergie, en MTEP⁷ et par type d'énergie, et la production d'énergie primaire sont les variables de sortie du module énergie : leur évolution tient naturellement compte du rythme de croissance économique, et en particulier de celui de la croissance des secteurs les plus intensifs en énergie.

Le module énergie relie l'activité globale des différents secteurs au niveau national à une offre mesurée en unités physiques (tep – tonnes équivalent pétrole), cette dernière étant ensuite scindée par type d'énergie, selon la segmentation suivante :

- Pétrole
- Gaz
- Electricité, dont :
 - o Sources renouvelables (hydraulique, éolien,...)
 - o Centrales nucléaires
 - o Autres
- Autres

La répartition de la production totale par source d'énergie dépend de l'évolution du mix énergétique. Ces hypothèses ont conduit, dans un deuxième temps, à s'interroger sur l'évolution de l'offre, et sur les besoins de construction de nouvelles installations.

En guise de synthèse, les **données d'entrée** du module énergie sont les évolutions économiques et sectorielles au niveau national. **Les données de sortie** de ce module sont :

- Des volumes de production énergétique, par type de ressource, selon la segmentation définie plus haut ;
- Un nombre estimé de nouvelles centrales nucléaires et de centrales hydrauliques, notamment, pour répondre aux besoins.

⁷ Millions de tonnes équivalent pétrole.

3.4. EVALUATION DES PRESSIONS ANTHROPIQUES

3.4.1. DEMARCHE

L'objectif de cette étape est d'évaluer l'impact des pressions anthropiques sur les territoires et les milieux naturels **à l'échelle nationale et au niveau des régions.**

La caractérisation des pressions anthropiques est exprimée au travers de deux familles d'indicateurs :

- Les indicateurs liés à l'occupation du territoire et à la répartition des activités humaines ;
- Les indicateurs physiques qui traduisent directement les pressions sur le milieu : niveaux des prélèvements, niveaux des consommations en eau, niveaux des pollutions, etc.

L'objectif est de quantifier les pressions liées aux prélèvements et aux consommations en eau résultant des évolutions de la demande à long terme selon les principaux usages : ménages, agriculture, énergie et industries.

Le travail de cette étape comprend plusieurs temps :

1. Sélection et caractérisation de **ratios techniques** permettant de quantifier les principales pressions liées aux activités humaines (volumes d'eau prélevés et consommés ...) ;
2. Quantification des **projections des pressions anthropiques sur les territoires et sur les milieux**, à l'échelle nationale et régionale, selon une sélection d'indicateurs, dans le(s) scénario(s) sans prise en compte de l'effet du changement climatique ;
3. Après intégration des résultats des autres Lots portant sur les conséquences du changement climatique sur leurs domaines et prise en compte des résultats du modèle socio-économique, analyse de l'impact du changement climatique sur les coefficients techniques liés aux prélèvements et consommations en eau ;
4. Quantification des conséquences des scénarios avec changement climatique – respectivement avec et sans mesures d'anticipation - sur les pressions anthropiques sur les ressources (prélèvements et consommations) ;

3.4.2. METHODES ET MOYENS

Afin de mettre en œuvre cette démarche, le BIPE a procédé en plusieurs temps :

3.4.2.1. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET RECUEIL DES DONNEES CHIFFREES

L'analyse bibliographique concerne les pressions liées aux prélèvements et consommations d'eau :

- o La revue bibliographique a pour objectif d'identifier les indicateurs de pression qui semblent à la fois les plus importants, en termes d'enjeux, et ceux qui sont quantifiables. Les ratios retenus devront être facilement « renseignables » et « chiffrables » afin de pouvoir réaliser l'exercice de quantification dans tous les domaines et toutes les dimensions requises.

En première approche, le BIPE propose les indicateurs suivants, classés par nature de pression :

- Pression sur le territoire :
 - Superficie des surfaces agricoles et principales utilisations (dont cultures intensives et cultures irriguées)
 - Poids et typologie de l'industrie (industries manufacturières et industries lourdes)
 - Poids de l'énergie : centrales nucléaires de production d'électricité et autres sources majeures de production d'énergie : centrales thermiques classiques, grands barrages ...
- Pression sur le milieu :
 - Volumes d'eau prélevés par type d'usage : agriculture, industrie, énergie et ménages (collectivités locales pour l'Adduction en Eau Potable ou AEP)
 - Volumes d'eau consommés par type d'usage

Au total et compte-tenu des objectifs, mais aussi afin de ne pas trop complexifier l'approche pour que les résultats soient les plus opérationnels possibles, le BIPE propose de retenir entre 5 à 7 indicateurs par famille d'activité. Chacun des indicateurs utiles au calcul des pressions fera l'objet d'une recherche bibliographique et de la définition d'une méthodologie spécifique d'évaluation (à valider par les experts en charge du suivi de l'étude). En effet, il n'est pas possible d'avoir une approche standard pour le calcul des consommations d'eau dans l'agriculture, l'industrie ou encore l'énergie. Ceci suppose une démultiplication des approches (indicateurs de pression x usages).

L'un des enjeux majeurs de cette étape est d'affecter une valeur à chaque indicateur et à chaque ratio pour pouvoir établir au mieux le lien entre les données économiques et socio-démographiques issues des phases précédentes produites par le lot n°7 et les données techniques indispensables à l'estimation des pressions exercées sur le milieu.

Les valeurs des indicateurs sont chiffrées par rapport à l'année de référence et les anticipations à long terme seront réalisées pour chaque scénario. Pour l'année de référence, le BIPE utilisera les données issues de la bibliographie spécialisée. Idéalement, l'année de

référence devrait être 2009, mais compte tenu de l'hétérogénéité des statistiques dans ce domaine, le BIPE retiendra comme année de référence, l'année la plus récente possible pour laquelle on dispose de statistiques dans tous les domaines (pour une homogénéité des modes de calcul et des projections), à savoir 2006.

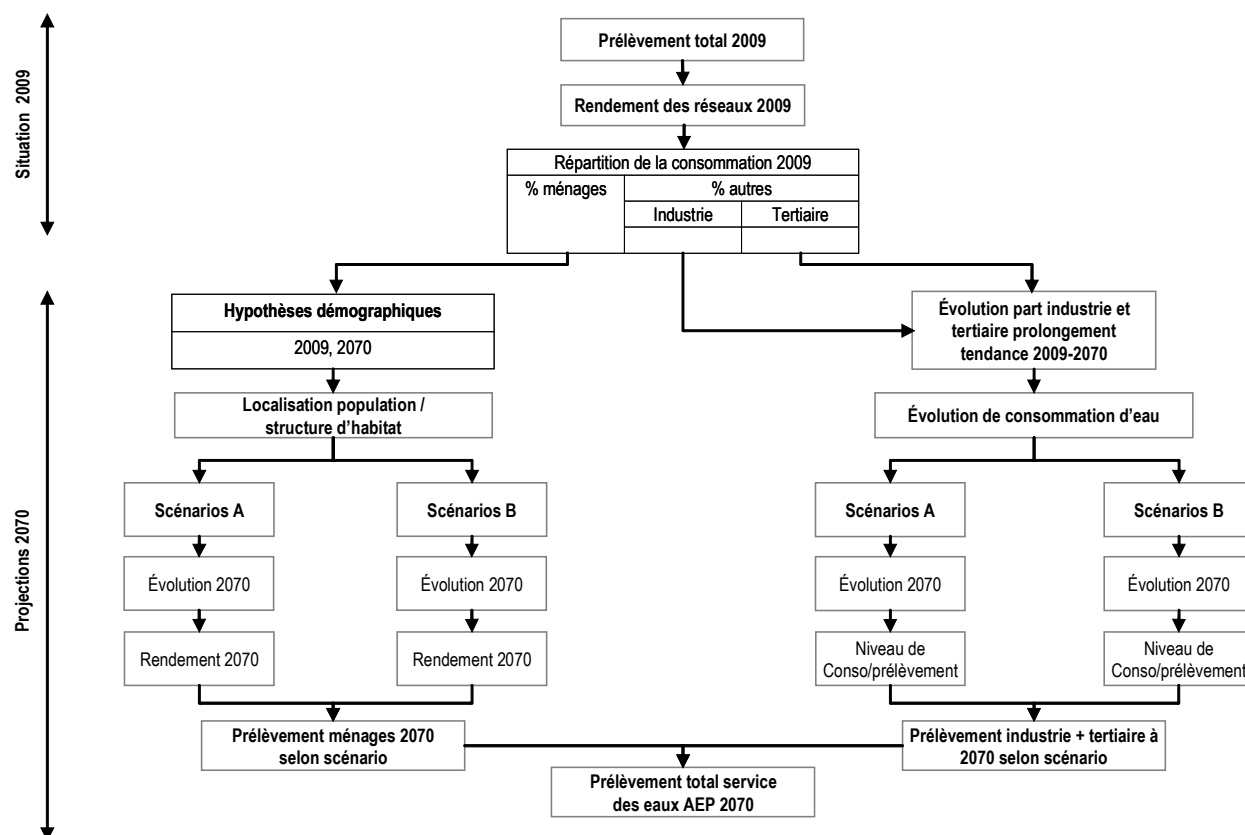
3.4.2.2. ENTRETIENS AUPRES D'EXPERTS

Ayant défini les indicateurs clés et établi une première projection des pressions anthropiques sur les ressources physiques, le BIPE a consolidé son approche à l'aide d'une série d'entretiens auprès :

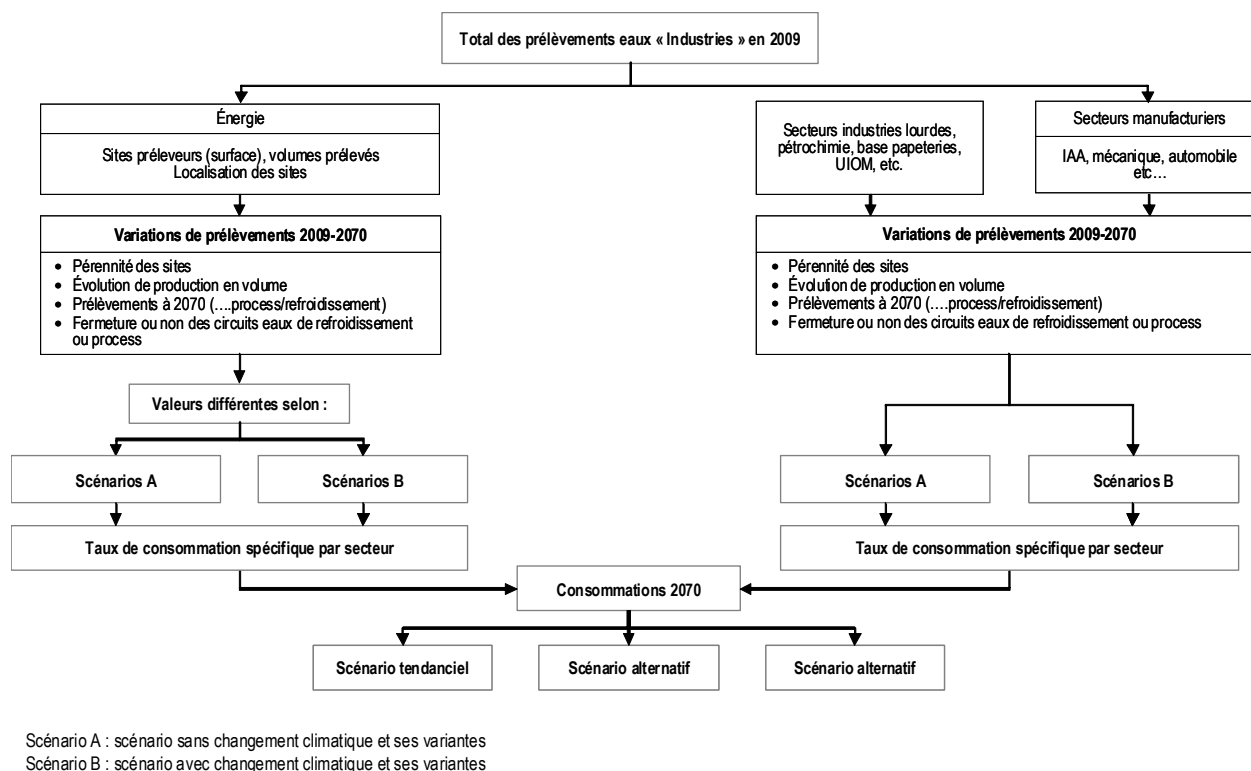
- d'experts du domaine du changement climatique et des mesures d'adaptation ;
- d'acteurs de terrain qui ont déjà pu engager une réflexion et/ou avoir un premier retour d'expérience sur ce sujet.

Ces entretiens avaient pour objectif de valider et de compléter, le cas échéant, le choix des indicateurs clés retenus, et de se prononcer sur les évolutions à long terme des indicateurs telles qu'elles ressortent de la première estimation (issue de la bibliographie). Ils visaient à valider les tendances envisagées dans les scénarios, à apprécier les nouvelles technologies de production et les projections de prélèvements/consommations d'eau, à valider et renseigner les niveaux des indicateurs tels qu'ils auront été anticipés en première approche et, enfin, à recueillir la vision de chacun d'entre eux sur les articulations/interactions à long terme (synergies, tensions) entre les évolutions des différentes sources de pression et leurs impacts.

Principes de calculs et hypothèses de prélèvements/consommations d'eau par les services des eaux AEP à 2070



Principes de calculs et hypothèses des prélèvements et consommations d'eau des industries et de l'énergie à 2070



L'ensemble des informations issues des phases précédentes a permis de calculer la demande et les pressions anthropiques par région selon les différents indicateurs retenus.

En termes de méthodologie, les principes de calcul peuvent être illustrés par l'exemple présenté ci-dessous pour l'agriculture :

3.4.2.3. EXEMPLE DANS LE DOMAINE AGRICOLE :

1. Demande en denrées céréalières en 2009 et projections à l'horizon 2070 ;
2. Surfaces en culture céréalière en 2009 et en 2070 selon les scénarios dont surfaces irriguées. Les surfaces sont calculées en fonction des besoins intérieurs et des exportations eux-mêmes définis selon la politique agricole envisagée pour chaque scénario. Les évolutions des rendements de cultures à long terme sont intégrées dans le calcul des surfaces en céréales ;
3. Pression unitaire exercée par les cultures céréalière en 2009 et en 2070 (quantités d'eau prélevées et consommées / ha /an) ;
4. Calcul de la pression globale sur la ressource en eau exercée par les cultures céréalières dans la région considérée.

Le calcul des pressions anthropiques prend en compte les principaux facteurs clés suivants :

3.4.2.3.1. Population, production et main-d'œuvre

La production est un indicateur clé pour le calcul des pressions. En effet, elle détermine les besoins en eau des différents secteurs utilisateurs. On suppose que les besoins en eau sont proportionnels à la population (AEP) et à la production (agriculture, énergie et industries) selon des coefficients qui se combinent entre eux. En effet, le lien entre production et besoin en eau ne sera pas uniforme dans le long terme. Il variera selon de nombreux facteurs tels que les procédés de fabrication, les modes de prélèvements en eau, leur traitement et les circuits de rejets. Ces facteurs sont pris en compte dans les points suivants.

3.4.2.3.2. Structure et localisation de l'appareil productif

La structure de l'appareil productif tient compte, au sein d'une même famille d'activités, du positionnement des secteurs sur la chaîne de valeur ou de la spécialité sectorielle, étant entendu que, pour une même production (en valeur) dans un secteur, les sources de production peuvent être différentes. Par exemple : la production d'électricité peut provenir de nombreuses sources d'énergie différentes - centrales nucléaires, hydro-électricité, centrales thermiques classiques, bio-énergies – qui présentent chacune des besoins spécifiques en eau. Or, le mix énergétique évoluera différemment à long terme selon les scénarios, et les besoins spécifiques de chacune de ces sources de production d'électricité évolueront également différemment dans le temps.

La localisation de l'appareil productif donnera deux types d'indications :

- Répartitions des usines sur le territoire et donc lieux de concentration des prélèvements en eaux. Il en est de même pour les répartitions des productions agricoles irriguées qui permettront d'identifier les zones de prélèvements les plus critiques.
- Principales sources potentielles de prélèvements des eaux – eaux de mer et eaux continentales -, ce qui est principalement utile pour les prélèvements des centrales nucléaires.

En complément à la pression liée à l'appareil productif, la localisation de la population sur le territoire permettra d'identifier les zones de consommation d'eau les plus importantes, notamment celles en provenance des grandes agglomérations.

3.4.2.3.3. Ruptures technologiques majeures

Les projections à long terme – aux échéances 2030, 2050 et 2070 - ne seront donc pas basées sur une modélisation en soi, mais sur la combinaison, pour chaque secteur utilisateur, de deux paramètres :

- Apparition d'une rupture technologique en matière de production*, prélèvement et consommation d'eau et leurs conséquences en besoins en eau dont les impacts seront exprimées en % de prélèvements et consommation en eau par rapport à la situation de référence ;
- Taux de diffusion des technologies au sein des secteurs utilisateurs. Par exemple : taux de diffusion de la technologie A dans le secteur nucléaire qui entraîne une baisse de consommation d'eau de X%.

**Au sens du processus de production ou de fabrication :*

- *AEP : production d'eau potable*
- *Industrie : production de biens*
- *Energie : production d'électricité*
- *Agriculture : productions végétales (dont pratiques d'irrigation)*

Seront également pris en compte, à ce stade, les réductions des fuites, les réductions de pertes par évaporation (barrages, refroidissement) et la réduction de l'évapotranspiration des cultures (par amélioration génétique, création de nouvelles variétés ou de nouvelles plantes cultivées) qui font partie des facteurs technologiques clés dans le dimensionnement des besoins en eau.

Par ailleurs, dans le domaine agricole, la généralisation de l'irrigation sur certaines cultures, du fait du changement climatique (envisageable pour la vigne par exemple), ne constitue pas en soi une rupture technologique mais devra aussi être prise en compte à ce stade de la réflexion.

3.4.2.3.4. Besoins unitaires en eau

Les besoins unitaires en eau découlent des principaux facteurs technologiques présentés ci-dessus. Ils sont exprimés en m³ par unité d'œuvre.

Cette unité d'œuvre est spécifique à chaque famille d'activités :

- Agriculture : m³ par hectare ou m3/par quintal de production par type de culture
- AEP : m³ par habitant/an ou m3/par ménage/an

- Industrie : les unités d'œuvre sont très hétérogènes. Le BIPE propose d'utiliser un ratio commun à l'ensemble des industries, à savoir les prélèvements par employé/an. Dans certains secteurs précis, gros consommateur en eau il pourra être pertinent d'employer des ratios de prélèvements en eau, par unité de production (m^3/tonne d'acier, m^3 par tonne de papier Nous retiendrons uniquement des secteurs homogènes en termes de process de production, c'est-à-dire ceux pour lesquels l'écart-type autour de la moyenne sectorielle est le plus faible.
- Energie : m^3 par KWh produit

Les besoins unitaires en eau seront exprimés, pour chacun des 4 usages, sur deux échelles de temps : en volume par an et en volume par mois (pour les 4 années, référence et projection). Cette « calendarisation » sera basée sur la répartition des prélèvements et des consommations sur une année moyenne.

3.4.2.3.5. E - Technologies de prélèvements et de production d'eau

Les technologies de prélèvement et de production d'eau sont également importantes à prendre en compte. En plus des technologies classiques de production d'eau telles qu'elles sont connues aujourd'hui, le poids de la réutilisation des eaux usées (après dépollution et épuration) ainsi que la désalinisation d'eaux saumâtres peuvent, selon les scénarios et les localisations, prendre une importance grandissante d'ici 2070. Par ailleurs, de nouvelles technologies peuvent apparaître ou être envisagées à long terme, en plus de celles que l'on vient citer.

3.4.2.3.6. F - Pressions sur l'eau (volumes prélevés et consommés)

Les quantités d'eau prélevées sont calculées en multipliant les prélèvements unitaires par le nombre d'unités d'œuvre desservies (AEP) ou produites (Agriculture, Energie, Industrie), telles qu'elles auront été calculées pour les échéances 2030, 2050 et 2070.

Les consommations d'eau correspondent à un pourcentage des quantités prélevées : ce ratio évoluera à long terme selon les activités, les technologies mises en œuvre et les échéances.

In fine, la consommation d'eau à l'échelle nationale résulte de la somme des consommations d'eau de chaque famille d'activités. Retenons qu'à long terme, à l'échelle nationale des consommations d'eau comparables d'un scénario à l'autre pourront résulter d'évolutions très différentes de consommations pour chacune des activités.

Les contrastes seront plus prononcés à l'échelle régionale, où les activités structurantes et

caractéristiques seront mises en relief : zones portuaires, plate-forme industrielles, grandes agglomérations, régions agricoles avec cultures irriguées dominantes, présence de centrales nucléaires (en bord de mer par exemple), zones à forte densité de centrales hydro-électriques, etc.

3.4.2.3.7. G - Sources de prélèvements et de consommation

A l'issue de cette étape et pour chacune des activités, des hypothèses seront formulées sur les répartitions des prélèvements par type de ressource : eaux souterraines, eaux superficielles et eau de mer, voire le « re-use ». Ces hypothèses prendront en compte les contraintes d'accès à la ressource, les besoins quantitatifs et qualitatifs des différentes familles d'activités (ou usagers).

Seuls des ordres de grandeur seront indiqués à ce stade. En première approche, les déclinaisons régionales sont calquées sur les moyennes nationales, puis elles sont ajustées au cas par cas en fonction des situations. Lorsqu'il y a un décalage fort par rapport à la moyenne nationale et une criticité élevée de la disponibilité de la ressource, des ajustements sont effectués tout en veillant à ce que ces situations soient limitées aux seuls cas le justifiant.

Cette déclinaison à l'échelle régionale permet d'effectuer des comparaisons avec les ressources en eau disponibles à long terme. Toutefois, il sera difficile d'aller finement dans la localisation des besoins en eau. Par exemple, **le BIPE ne peut indiquer si une centrale nucléaire ou un gros consommateur industriel d'eau sera localisé le long d'une rivière bien identifiée ou d'une nappe précise.**

Néanmoins, par itération et dans le cadre des échanges avec les autres bureaux d'études en charge de la prospective des ressources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) il sera possible de procéder par exclusion, c'est-à-dire d'indiquer les endroits où les implantations de gros consommateurs d'eau sont exclues (a priori) ou bien là où des tensions sont susceptibles d'apparaître (période d'étiage) et où les conflits d'usage obligeront à effectuer des arbitrages en matière de priorité d'accès à la ressource en eau.

A l'issue de cette phase, le BIPE proposera une quantification, pour chaque scénario, des pressions sur le territoire et sur le milieu.

Cette phase sera structurée autour de deux formes de résultats complémentaires : bases de données et cartes, d'une part, et commentaires plus analyses, d'autre part.

Les bases de données présenteront les résultats des calculs et des modèles qui croiseront les

données démographiques, socio-économiques et les effets des pressions anthropiques.

Les résultats seront régionalisés et exprimés sous la forme de bases de données, de tableaux synthétiques et de cartes. L'ensemble des résultats sera analysé et les conséquences de chaque scénario en matière de pression seront détaillées.

Un ensemble de cartes sera réalisé afin d'illustrer et de visualiser de manière pédagogique les principaux enjeux liés aux pressions sur le territoire et sur le milieu.

L'échelle géographique retenue est la région.

4. RESULTATS PRELIMINAIRES DES DEUX SCENARIOS TENDANCIELS

4.1. PREAMBULE

Quelques remarques s'imposent à titre de préambule.

D'une part, compte tenu de l'horizon de cette étude et des incertitudes majeures qui pèsent sur les évolutions géo-politiques, démographiques, économiques et sociétales à cet horizon, les scénarios tendanciels n'ont pas la prétention de constituer une « prévision » des évolutions futures. Leur objectif est de décrire ce que seraient les pressions sur les ressources – et en particulier sur les ressources énergétiques et les ressources en eau – dans l'hypothèse où la croissance de l'économie française se poursuivait sans heurts majeurs et sur une trajectoire proche du potentiel de croissance à long terme. En d'autres mots, indépendamment des effets de cycles qui ne manqueront pas de survenir sur la période, mais qui ne dévieront pas nécessairement l'économie de sa trajectoire de très long terme, une telle analyse est essentielle pour anticiper les besoins futurs et les zones de tension, et permettre aux acteurs concernés – et notamment aux décideurs publics – de prendre les mesures qui s'imposent pour s'assurer que l'économie puisse réaliser cette croissance « potentielle » sans mettre en danger la pérennité de cette croissance.

D'autre part, dans cette étude, les scénarios sont choisis de manière à définir **une fourchette d'incertitude relative aux résultats attendus**, qui sont les besoins en eau et les pressions anthropiques à horizon 2070. Par conséquent, les variables sur lesquelles on fera des hypothèses différentes entre les deux scénarios tendanciels hors changement climatique sont celles qui sont les principales **déterminantes** – directes ou indirectes – **des besoins en eau, ou qui ont une incidence directe sur les pressions anthropiques**. En effet, même en admettant le degré d'incertitude élevé qui caractérise les projections faites sur un horizon temporel de 60 ans, **l'erreur de prévision ne porte à conséquence dans cette étude que si elle porte sur des variables impactant les besoins en eau**. Ainsi, à titre d'exemple, les évolutions attendues en termes de disparités de revenus sont certainement importantes en termes social et sociétal, mais sont moins discriminantes en termes de besoins en eau et d'usages de l'eau que les évolutions dans le domaine de l'habitat et de l'utilisation des sols.

4.2. MODULE SOCIO-DEMOGRAPHIQUE

4.2.1. LES PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUES

Les prévisions démographiques présentées correspondent à une vision « consensuelle » des tendances futures. Ces prévisions s'appuient sur les travaux de l'INSEE publié au 4^{ème} trimestre 2010 :

- projections de population 2007-2060 pour la France métropolitaine ;
- la population des régions en 2040.

Les hypothèses de l'INSEE sont en effet jugées pertinentes dans le contexte économique et social envisagé par le BIPE à plus long terme, et s'appuient elles-mêmes sur des hypothèses « tendanciennes » d'évolution des principaux paramètres démographiques, à savoir les taux de natalité, de mortalité et de fécondité. Elles paraissent donc appropriées pour un scénario démographique « tendanciel ». Seules les hypothèses relatives aux flux migratoires pourraient faire l'objet de variantes. Néanmoins, dans le cadre de ce chiffrage « tendanciel » une hypothèse centrale unique a été retenue pour laisser la place à des modifications de cette hypothèse lorsqu'on intégrera l'impact du changement climatique et celui des mesures d'adaptation.

Comme indiqué dans les sections qui suivent, les hypothèses retenues dans cette étude prolongent les tendances esquissées par l'INSEE à horizon 2060, et ce pour les dix années suivantes. Ci-dessous, nous présentons les principales hypothèses, et les résultats.

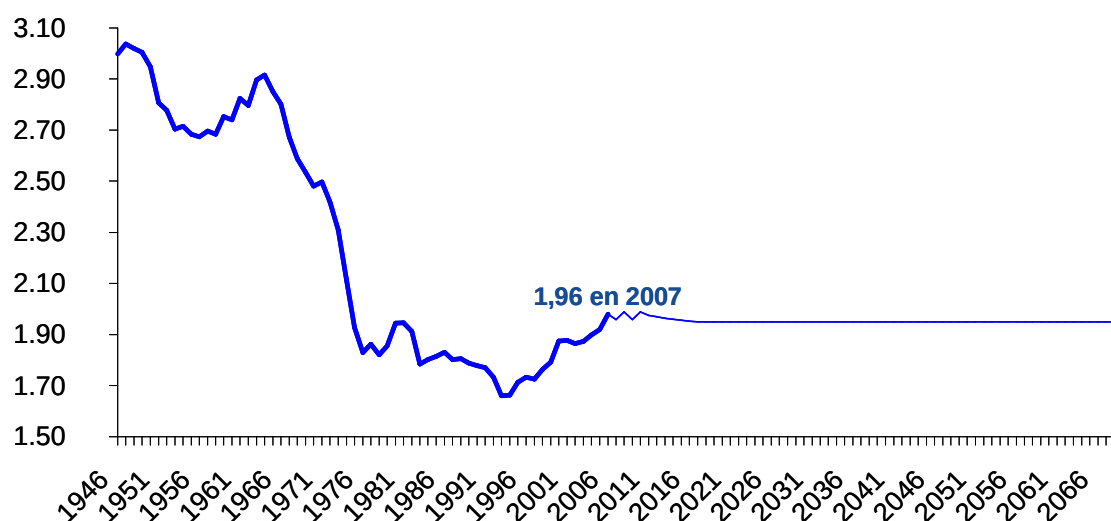
Rappelons que nous proposons de retenir un scénario démographique unique pour les deux scénarios tendanciels à stabilité climatique.

4.2.2. LES HYPOTHESES DEMOGRAPHIQUES RETENUES

4.2.2.1. HYPOTHESE DE FECONDITE

L'indice conjoncturel de fécondité est maintenu, sur l'ensemble de la période, au niveau moyen observé depuis début 2004, soit 1,95 enfant par femme en moyenne. L'âge moyen à la maternité se stabiliserait à 30,4 ans en 2015.

Evolution de l'indicateur conjoncturel de fécondité



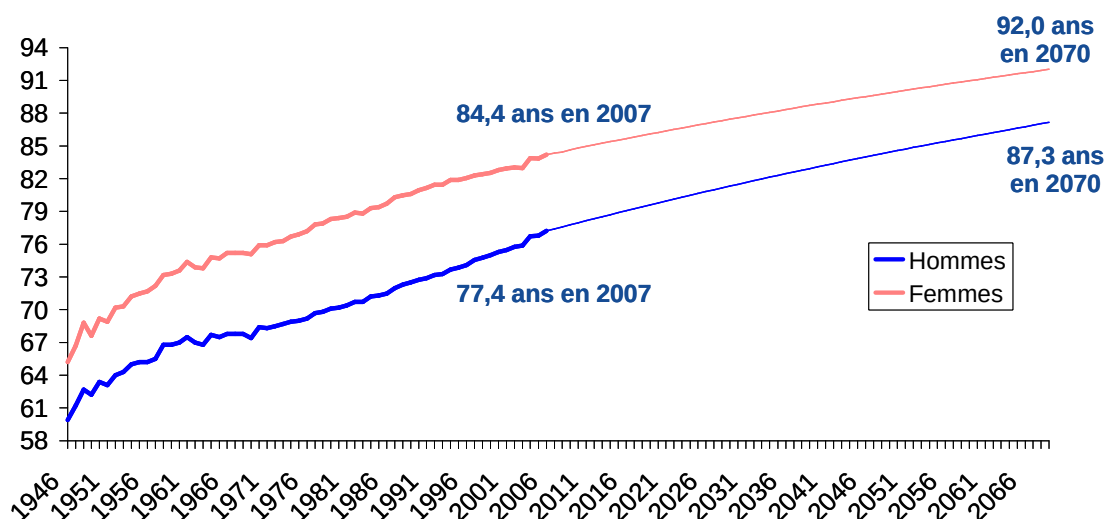
Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population à l'horizon 2060 pour la France métropolitaine

Cette hypothèse correspond à une stabilisation autour du niveau actuel. Le graphe ci-dessus montre l'évolution de cet indicateur au cours des 50 dernières années, et met l'accent sur la phase de reprise qui a suivi la baisse soutenue du nombre moyen d'enfants par femme entre les années 1950 et le début du 21^{ème} siècle. La légère remontée amorcée depuis peut s'interpréter comme un retour vers un niveau de long terme, plus proche d'un niveau de remplacement des populations. De fait, la descendance finale des femmes en France est stable, légèrement au-dessus de 2,0 enfants par femme depuis les générations nées après 1945, et la famille « idéale » se polarise autour de deux enfants selon les intentions de fécondité. Selon les experts, une descendance finale autour de 2,0 correspondrait plus à un maximum. Sur longue période, le recul des calendriers des naissances ne serait pas totalement compensé : la descendance serait alors à 1,95, niveau légèrement plus faible que 2,0.

4.2.2.2. HYPOTHESE DE MORTALITE

La tendance à la baisse de la mortalité à chaque âge, observée sur la période 1988-2002, est également prolongée. L'espérance de vie à la naissance devrait passer de 84,4 ans en 2007 à 92 ans en 2070 pour les femmes et de 77,4 ans à 87,3 ans pour les hommes, prolongeant de ce fait une évolution historique de long terme. Notant que l'écart d'espérance de vie à la naissance entre les femmes et hommes diminue, passant de 7 ans en 2007 à 4,7 ans en 2070.

Evolution de l'espérance de vie à la naissance



Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population à l'horizon 2060 pour la France métropolitaine

Les experts consultés par l'INSEE confirment la poursuite des tendances passées en terme de rythme de gains d'espérance de vie, avec néanmoins une diminution de l'écart entre femme et homme et un ralentissement progressif des gains d'espérance de vie sur le long terme. L'incertitude pèse surtout sur les quotients de mortalité important aux âges élevés : à partir de 70 ans, car c'est là que les gains d'espérance de vie ont été les plus importants ces dernières années ; et au-delà de 90 ans car le suivi et le comptage des centenaires sont regardés de plus en plus attentivement. Comme le note l'INSEE⁸ « Ceci est essentiel, que ce soit pour la prise en charge de la perte de l'autonomie (formation du personnel, construction de maison de retraite et de long séjour hospitalier), de la maladie d'Alzheimer et de l'ensemble des syndromes gériatriques (dégénérescence maculaire, fracture du col du fémur...), il faut mieux connaître les effectifs des personnes très âgées en France, et pour cela il est nécessaire de mieux connaître leur mortalité ».

4.2.2.3. SOLDE MIGRATOIRE EXTERNE

L'hypothèse centrale retenue par l'INSEE suppose un solde migratoire égal à + 100 000 habitants par an de 2007 à 2050.

Cette hypothèse normative est la plus discutable. En effet, certains experts pensent que le solde migratoire devrait s'accroître. Les arguments avancés sont liés aux besoins de main d'œuvre sur le territoire et à l'attractivité de la France. En effet, la période de projection sera, d'une part, marquée par un vieillissement et des besoins de main d'œuvre accrus en France

⁸ INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population à l'horizon 2060 pour la France métropolitaine.

métropolitaine et d'autre part par un boom démographique de certains pays du Sud. Les déséquilibres démographiques mais également les mutations écologiques, les disparités de niveau de vie et d'accès aux ressources naturelles entre régions du monde constituent ainsi un facteur d'accroissement de la pression migratoire, qui pourraient entraîner une hausse des flux migratoires au fil du temps. Toutefois, autant les flux entrants que sortants devraient augmenter, rendant le solde net incertain. Le choix d'un solde net de 100,000 effectué ici a été retenu au regard des équilibres sur le marché de l'emploi qui en découlent, comme indiqué ci-après.

Cette hypothèse est retenue dans les deux scénarios tendanciels à stabilité climatique, et prolongée à horizon 2070. Il s'agit d'une hypothèse structurante, dans la mesure où la majeure partie de la population immigrante est en âge de travailler. L'hypothèse d'une hausse de la population du fait de l'immigration accroît donc la croissance potentielle. Les conséquences en termes de croissance potentielle et de taux de chômage en fin de période, qui sont présentées plus en détail plus loin, permettent néanmoins de valider la vraisemblance de cette hypothèse : elle conduit en effet à un taux de chômage en fin de période de 4,2%⁹, pour une croissance moyenne du PIB sur longue période de 1,7% par an, et une productivité annuelle du travail en hausse de 1,3% en moyenne.

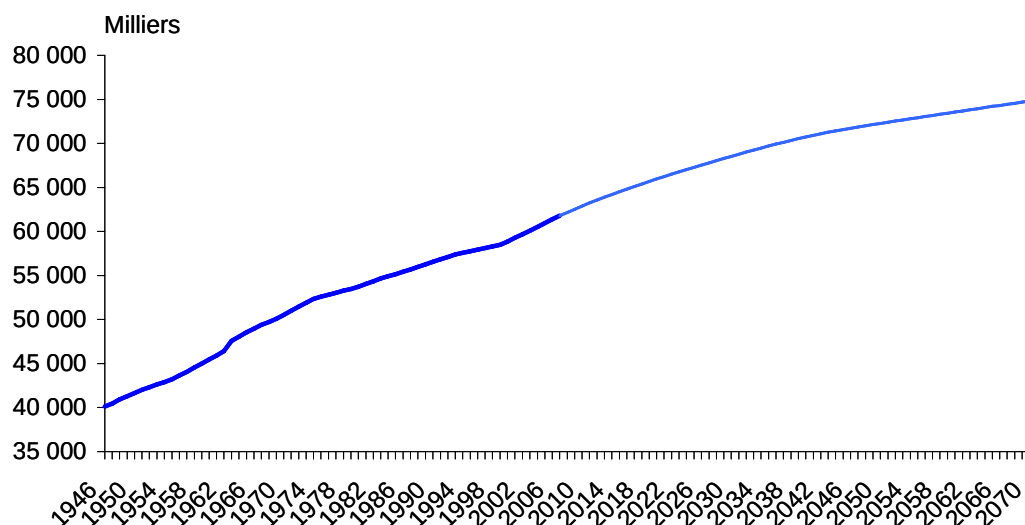
Dans les scénarios intégrant le changement climatique, il est probable que cette hypothèse devra être revue, vraisemblablement à la hausse compte tenu de la direction des migrations dites « climatiques ». De même, le nombre d'entrants sur le territoire devra être adapté dans le cadre du scénario intégrant le changement climatique et les mesures d'adaptation, dès lors que le marché de l'emploi ne s'approcherait plus de l'équilibre (caractérisé par un chômage frictionnel « raisonnable »).

4.2.3. LA POPULATION DE LA FRANCE METROPOLITAINE A L'HORIZON 2070

Au 1^{er} janvier 2070, la France métropolitaine devrait compter 74,8 millions d'habitants, contre 61,8 millions au 1^{er} janvier 2007, soit une hausse de 13 millions d'habitants.

⁹ Ce taux de chômage, qui peut paraître faible, correspond au pourcentage de personnes en âge de travailler n'exerçant **aucune** activité au cours de l'année. Il n'exclut donc pas un développement du temps partiel – voire du travail « occasionnel », qui conduirait néanmoins à recenser les personnes concernées parmi les personnes dans l'emploi.

Evolution de la population de 1946 à 2007 et projections à l'horizon 2070



Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population à l'horizon 2060 pour la France métropolitaine

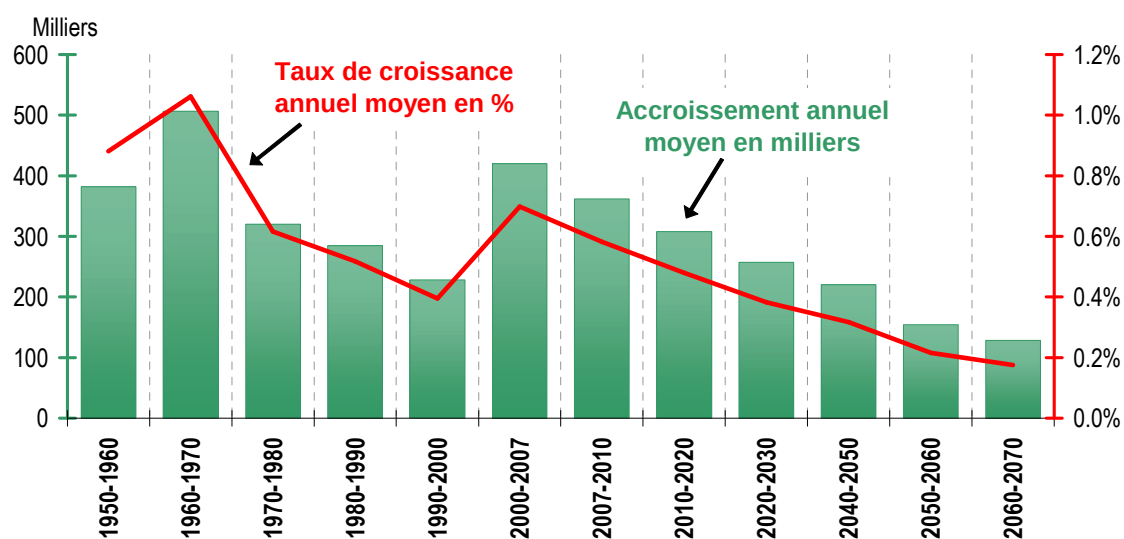
Cette évolution démographique correspond néanmoins à un ralentissement du rythme de croissance de la population entre 2007 et 2070, sous l'effet du vieillissement de la population et de l'augmentation du nombre de décès qui l'accompagne.

Comme le montrent les graphiques ci-dessous :

- le nombre de naissances se maintiendrait, au cours de la période 2007-2069, autour de 790 000 par an ;
- le nombre de décès augmentera progressivement jusqu'en 2035, puis connaîtra une accélération jusqu'en 2045 pour se maintenir ensuite autour de 770 000 par an, contre 600 000 par an au cours de la période 2007-2034.

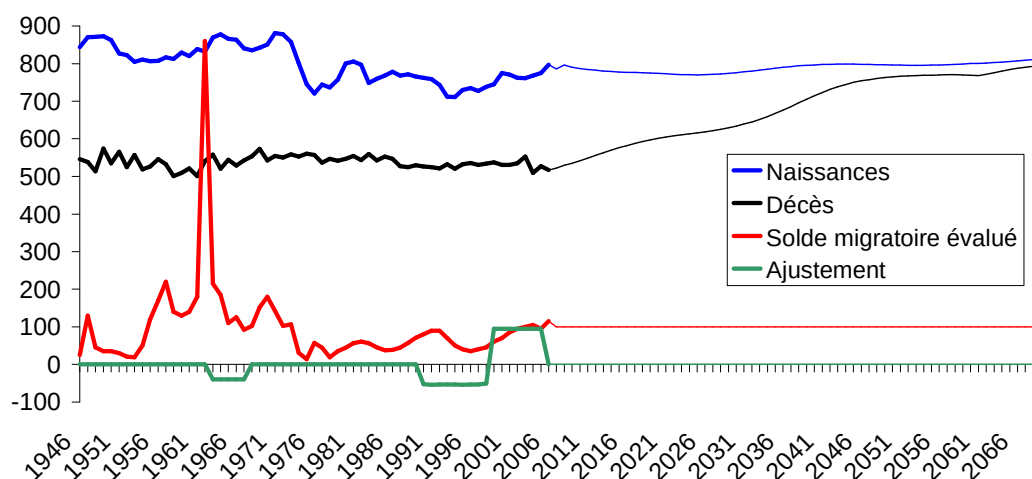
Il en résulte que l'excédent naturel contribuera peu à la croissance de la population, puisque le nombre de décès se rapproche du nombre de naissances. En conséquence, à partir de 2045, le solde migratoire externe représentera plus des 2/3 de l'augmentation annuelle de la population.

Accroissement de la population



Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population à l'horizon 2060 pour la France métropolitaine

Evolution des composantes de la population (en milliers)



Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population à l'horizon 2060 pour la France métropolitaine

Le pic sur le graphique ci-dessus correspond aux retours en métropole à la fin de la guerre d'Algérie.

Compte tenu de ces évolutions, près d'un tiers de la population aura plus de 60 ans en 2060, et un habitant sur 6 aura plus de 74 ans. A lui seul, le nombre de personnes de 75 ans et plus augmentera de 7,2 millions de personnes entre 2007 et 2070. En 2070, 12,4 millions de personnes seront âgées de 75 ans et plus, contre 5,2 millions en 2007, soit un nombre multiplié par 2,4 en 63 ans.

L'accroissement du nombre de personnes de plus de 60 ans sera plus rapide en début de

période, et ce jusqu'en 2035, avec l'arrivée à ces âges des générations nombreuses issues du baby-boom, nées avant 1975. Alors que 21 % de la population résidant en France métropolitaine avait 60 ans ou plus en 2007, cette proportion sera de 31 % en 2035 et de 33 % en 2070. Entre 2035 et 2070, la progression du nombre et de la part des personnes de 60 ans ou plus sera nettement plus modérée : les nombreuses générations nées après guerre auront plus de 90 ans, et les décès augmenteront fortement. Le solde naturel (naissance - décès) passera ainsi sous la barre des +100 000 par an.

Structure de la population par groupe d'âge au 1er janvier

	Moins de 20 ans	20-59 ans	60-74 ans	75 ans et plus	Total
1950	30.1%	53.6%	12.5%	3.8%	100.0%
1960	32.3%	51.0%	12.4%	4.3%	100.0%
1970	33.1%	48.8%	13.4%	4.7%	100.0%
1980	30.6%	52.4%	11.3%	5.7%	100.0%
1990	27.8%	53.2%	12.2%	6.8%	100.0%
2000	25.6%	53.8%	13.4%	7.2%	100.0%
2007	24.8%	53.8%	13.0%	8.5%	100.0%
2010	24.4%	52.7%	14.0%	8.9%	100.0%
2020	23.9%	49.6%	17.0%	9.4%	100.0%
2030	23.0%	47.5%	17.1%	12.3%	100.0%
2040	22.4%	46.6%	16.3%	14.7%	100.0%
2050	22.3%	45.9%	15.9%	16.0%	100.0%
2060	22.1%	45.8%	15.9%	16.2%	100.0%
2070	21.8%	45.5%	16.1%	16.6%	100.0%
Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population à l'horizon 2060 pour la France métropolitaine					

Ces évolutions se traduisent aussi par une légèrement augmentation du nombre de personnes âgées de moins de 20 ans d'ici 2070. Par contre, leur part dans le total de la population métropolitaine diminuera, passant de 25 % en 2007 à moins de 22 % en 2070.

Dès 2014, la proportion de personnes de moins de 20 ans sera inférieure à celle des 60 ans ou plus. Le nombre de personnes âgées de 20 à 59 ans oscillera autour de 33 millions sur toute la période : à la baisse jusqu'en 2035 puis à la hausse pour se fixer à 34 millions en 2070.

Enfin, la part de la population en âge de travailler (15-64 ans) dans le total de la population métropolitaine baissera continuellement sur la période : en 2070, les 15-64 ans ne représenteront ainsi plus que 56 % de la population, contre 64 % en 2007.

4.2.4. LA POPULATION DES REGIONS A L'HORIZON 2070

4.2.4.1. HYPOTHESES DE PROJECTION RETENUES

Au niveau régional, les hypothèses de projection retenues par l'INSEE à l'horizon 2040 et maintenues par le BIPE à l'horizon 2070 sont les suivantes :

- la fécondité de chaque région est maintenue à son niveau de 2007 ;
- la mortalité de chaque région baisse au même rythme qu'en France métropolitaine, où l'espérance de vie atteindrait 83,1 ans pour les hommes et 88,8 ans pour les femmes en 2040, et respectivement 87,3 et 92 ans en 2070 ;
- les quotients migratoires entre régions métropolitaines, calculés entre 2000 et 2008, sont maintenus constants sur toute la période de projection. Ils reflètent les échanges de population entre une région et chacune des autres, y compris celles d'outre-mer. En ce qui concerne les échanges avec l'étranger, l'hypothèse métropolitaine (solde migratoire de + 100 000 personnes par an) est ventilée au prorata du nombre d'immigrants par région. Ces projections sont ensuite calées sur la nouvelle projection de population métropolitaine centrale publiée par l'Insee en octobre 2010. Hormis ce calage, un dispositif similaire a été adopté pour les régions d'outre-mer, pour lesquelles la prise en compte des échanges avec l'étranger s'appuie sur la reconduction des tendances récentes.

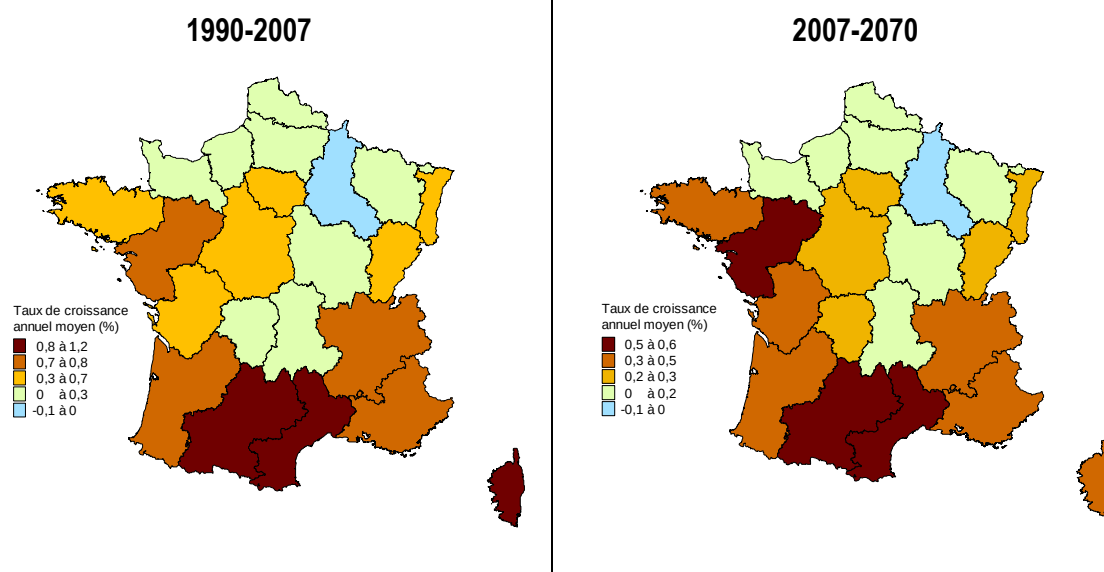
Population par région en France métropolitaine en 1975, 2007 et projections à 2070 (en milliers)

	1975	2007	2070		1975	2008	2070
Ile-de-France	9 879	11 599	13 289	Bretagne	2 595	3 120	4 215
Champagne-Ardenne	1 337	1 339	1 300	Poitou-Charentes	1 528	1 740	2 208
Picardie	1 679	1 900	2 105	Aquitaine	2 550	3 151	4 208
Haute-Normandie	1 596	1 817	2 005	Midi-Pyrénées	2 268	2 810	3 953
Centre	2 153	2 527	2 934	Limousin	739	737	846
Basse-Normandie	1 306	1 461	1 624	Rhône-Alpes	4 781	6 066	8 080
Bourgogne	1 571	1 634	1 766	Auvergne	1 330	1 339	1 498
Nord-Pas-de-Calais	3 914	4 022	4 207	Languedoc-Roussillon	1 789	2 561	3 623
Lorraine	2 331	2 340	2 407	Provence-Alpes-Côte d'Azur	3 676	4 864	5 918
Alsace	1 517	1 827	2 112	Corse	226	299	375
Franche-Comté	1 060	1 159	1 319	France métropolitaine	52 592	61 795	74 792
Pays de la Loire	2 767	3 483	4 801				

Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population des régions à l'horizon 2040

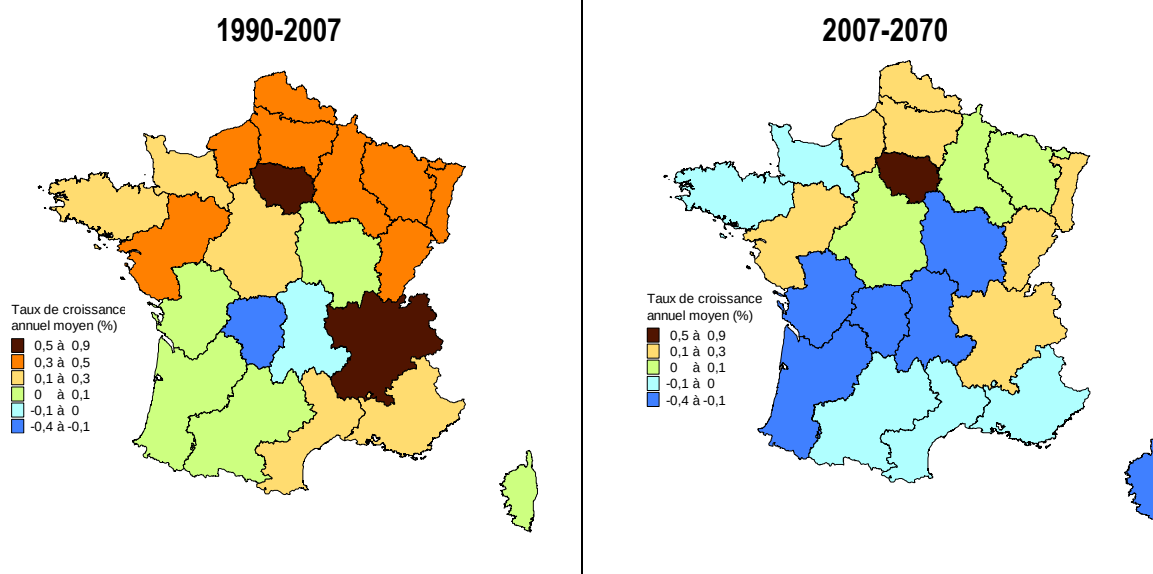
Dans les régions méridionales, dans celles de la façade atlantique et en Rhône-Alpes, la croissance démographique devrait être soutenue, à l'inverse de certaines régions du quart nord-est où elle sera plus atone. Le scénario retenu (voire hypothèses ci-dessus) confirme les tendances récentes à la polarisation vers les régions de l'Ouest et du Sud, mais à un rythme désormais aussi important pour les premières que pour les secondes.

Accroissement de la population régionale



Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population des régions à l'horizon 2040

Contribution du solde naturel à l'accroissement de la population régionale



Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population des régions à l'horizon 2040

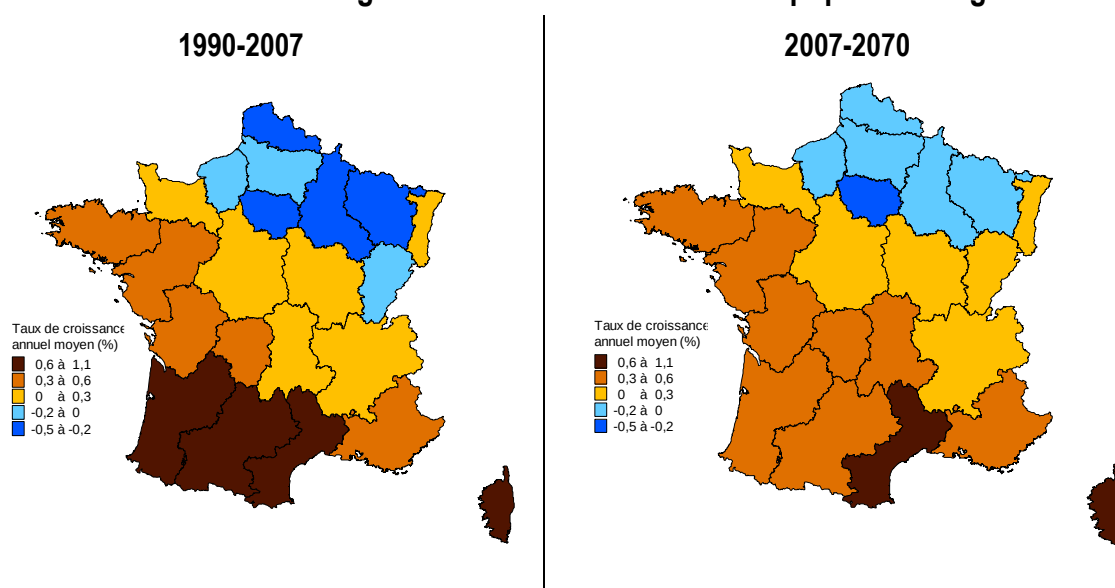
Néanmoins :

- les régions méridionales (Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon, Corse) devraient connaître un tassement de leur croissance démographique ;
- le Limousin et l'Auvergne devraient progresser à un rythme proche de celui de l'Île-de-France ;
- la croissance de la population des régions du Nord-est devrait être atone.

Comme c'est le cas au niveau national, le solde naturel aura un impact plus faible sur la croissance démographique des régions que dans le passé: au cours de la période 2007-2070, 11 régions (Limousin, Corse, Auvergne, Poitou-Charentes, Bourgogne, Aquitaine, Languedoc-Roussillon, Basse-Normandie, Midi-Pyrénées, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Bretagne) auront un nombre de décès supérieurs au nombre de naissances contre 2 régions (Limousin, Auvergne) au cours de la période 1990-2007).

Les migrations entre régions joueront en revanche un rôle croissant dans la démographie régionale: elles expliquent l'essentiel de la croissance démographique des régions et notamment des régions de méridionales et de l'arc atlantique.

Contribution du solde migratoire à l'accroissement de la population régionale



Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population des régions à l'horizon 2040

Ces évolutions sont importantes dans la mesure où elles influencent les besoins en nouveaux logements, et l'évolution de la surface artificialisée dans chaque région. Les implications dans les deux scénarios tendanciels à stabilité climatique sont présentées plus loin.

4.2.5. LES MENAGES A L'HORIZON 2070

4.2.5.1. DEFORMATION DES MODES DE COHABITATION PAR SEXE ET AGE

Le point de départ de la projection du nombre de ménages, aux échelles nationale et régionales, est la structure de la population par sexe et âge, telle que déterminée par les travaux présentés ci-dessus. Cette ventilation de la population par tranche d'âge est très importante, car les individus optent pour des modes de cohabitation différents selon leur

position dans le cycle de vie, mais aussi parce qu'elle conditionne les arbitrages individuels susceptibles d'être effectués par les générations successives. Aussi, la première étape à réaliser est de déterminer quelles sont les évolutions à attendre en termes de modes de cohabitation.

Celui-ci est approché en déterminant la probabilité qu'a un individu, selon son sexe et son âge, d'être :

- un enfant : personne vivant avec ses parents ou avec un de ses parents, sans être la personne de référence du ménage (c'est-à-dire qu'il n'est pas à la fois actif et en couple) ;
- une personne seule : personne vivant dans un ménage dans lequel aucune autre personne ne vit ;
- un adulte d'une famille monoparentale : personne ne vivant pas en couple mais ayant un ou des enfant(s) vivant avec elle au sein du ménage ;
- un adulte d'un couple sans enfant : personne vivant en couple mais n'ayant aucun enfant vivant au sein du ménage (un ou les deux membres peuvent avoir tout de même des enfants, mais ceux-ci vivent au sein d'un autre ménage) ;
- un adulte d'un couple avec enfant(s) : personne vivant en couple et ayant un ou des enfant(s) vivant au sein du ménage ;
- un adulte d'autre type de ménage : personne vivant dans un ménage d'au moins deux personnes et n'étant ni membre d'une famille monoparentale ou d'un couple avec ou sans enfant. Aux âges jeunes, ces ménages sont essentiellement des cohabitations de type colocation, alors qu'aux âges élevés, ce sont souvent des cohabitations intergénérationnelles (on parle parfois de « ménages complexes ») ;
- un adulte vivant hors ménage : personne vivant dans une collectivité (internat, caserne militaire, communauté religieuse, etc.), ou dans des logements en résidence (foyer de jeunes travailleurs, foyer pour personnes âgées, etc.), ou dans une caravane, une péniche, etc.

L'ensemble de ces probabilités évolue dans le temps, sous l'effet de divers facteurs d'ordre socio-démographiques. A partir de l'analyse de ces phénomènes, nous avons posé des hypothèses sur l'évolution de chacun de ces modes de cohabitation, en laissant toutefois jouer pour une part importante la prolongation des tendances observées sur la période 1999-2006 jusqu'en 2020, puis en les infléchissant jusqu'en 2070.

Les résultats traduisent les évolutions suivantes en termes de modes de cohabitation :

- **La proportion de personnes seules va croître à presque tous les âges.** Ce phénomène s'explique :
 - par la plus grande propension à vivre seul aux âges jeunes, liée à des facteurs socio-économiques (allongement de la durée des études) ou sociétaux (individualisme et préférence pour l'intimité, desquels découle un retard de l'âge de mise en ménage) ;
 - par l'allongement de la durée de la vie et le maintien des écarts d'espérance de vie entre hommes et femmes, qui entraînent un nombre plus important de

veuvages ; ceci est aussi lié au développement récent –mais qui devrait se poursuivre - d’une politique d’aide au maintien à domicile des personnes dépendantes (ex : Allocation Personnalisée d’Autonomie (APA)).

Notons que les jeunes qui quittent le foyer parental deviennent souvent des personnes seules. Ce mode de cohabitation « solo » devrait continuer à se développer, tant pour les hommes que pour les femmes. Divers travaux ont en effet prouvé que la propension d’un jeune à vivre seul plutôt qu’avec ses parents dépend principalement de : son revenu propre (facteur de décohabitation), la présence d’un beau-parent et/ou d’un nombre élevé de frères et sœurs (facteur de décohabitation), et de la qualité du logement de ses parents (facteur de cohabitation). Concernant le second facteur, le développement des familles monoparentales et des familles recomposées risque d’augmenter le risque de départ des jeunes adultes du foyer parental au cours des prochaines années. Ce facteur jouera plus que le troisième facteur cité, l’augmentation de la qualité des logements. De plus, sur le passé, le versement des aides personnelles au logement a favorisé la décohabitation des étudiants. Aux âges intermédiaires, c’est essentiellement la divortialité, et les séparations de couples en général, qui vont provoquer l’augmentation de la part des personnes seules.

Notons par ailleurs que ce facteur est aussi un facteur de mobilité résidentielle, avec des phénomènes de retour dans leur région d’origine de personnes séparées, qui s’étaient déplacées avant pour leur mise en couple.

- **La monoparentalité féminine demeurera importante entre 35 et 55 ans.** La situation d’adulte d’une famille monoparentale est le mode de cohabitation qui oppose le plus les hommes et les femmes. Pour un homme, la probabilité d’être dans ce cas est très faible, En revanche, la probabilité pour une femme de connaître ce mode de cohabitation au même âge est 5 fois plus élevée.
- **La proportion de couples avec enfant(s) va continuer à diminuer aux âges élevés.** Les comportements de cohabitation des adultes d’âge intermédiaire répondent à une logique différente de celle des jeunes adultes et des personnes âgées. C’est notamment le cas pour ce qui est des arbitrages quant à la décision de vivre en couple. Sur ce point, les économistes de la famille ont identifié trois types de facteurs influençant la décision de vivre en couple ou non :
 - la réalisation d’économies d’échelle dans la consommation, permettant de jouir d’un revenu plus élevé : vivre en couple permet de réduire les coûts marginaux des dépenses les plus importantes d’un ménage, en tête desquelles se situent le logement, l’énergie, les dépenses alimentaires, etc. ; au cours des dernières années, le poids budgétaire de ces postes de consommation a pris de l’ampleur (hausse du prix des logements et des matières premières énergétiques), et cette tendance aurait donc pour conséquence de générer des arbitrages en faveur de la vie en couple ;

- o le bénéfice de rendements croissants dans la production domestique : selon cette théorie, au sein d'un couple, les individus ont toujours la possibilité de se répartir les tâches, qu'elles soient d'ordre domestique ou économique, voire de se spécialiser dans certaines tâches ; la caricature de cette théorie est le couple monoactif traditionnel, où l'homme a pour rôle d'obtenir des revenus pour le ménage et où la femme s'accapare les tâches domestiques ; ce type de théorie a été fortement mise à mal, et continuera de l'être, par la féminisation de l'emploi, qui a nettement contribué à réduire les gains à attendre de la vie en couple de ce point de vue ;
- o la préférence pour l'intimité, qui se manifeste dans un environnement économique où les niveaux de vie s'accroissent ; c'est le cas en France depuis les années 1990, années à partir desquelles a émergé ce type de comportement ; de nombreuses personnes ressentant cette préférence sont aujourd'hui enclines à vivre seules, même si elles sont en couple, afin de conserver une certaine indépendance ; l'essor de ce phénomène devrait également persister au cours des années 2010-2020.

Si la vie en couple continuera à s'éroder globalement, les tendances divergent selon que le couple a ou non un ou des enfants vivant au sein du foyer. Dans le premier cas, on a assisté à une forte baisse de leur part, notamment chez les plus de 50 ans, au cours de la période récente. Cette baisse va perdurer au cours des dix prochaines années, pour des raisons non pas d'ordre sociologique, mais démographiques. En effet, les générations du baby-boom qui arrivent dans ces classes d'âge vont continuer à voir leurs enfants quitter le foyer, car ils entrent dans les âges de décohabitation.

- **Les couples sans enfant augmentent.** La principale conséquence du phénomène évoqué ci-dessus est l'augmentation de la part des couples sans enfant à partir de 55 ans. Cette hausse sera très importante entre 2010 et 2020 : la probabilité des hommes et des femmes de 20-24 ans d'être adulte d'un couple sans enfant a, elle aussi, fait un bond relativement important entre 1999 et 2006 (probabilités respectivement passées de 8% à 13% et de 17% à 22%) alors qu'elle n'a que très peu évolué aux classes d'âge immédiatement suivantes. La principale explication qui vient à l'esprit pour expliquer ce phénomène est celle d'une cohabitation accélérée des jeunes couples qui auraient éprouvé plus de difficultés que précédemment à se loger. Cette explication est plausible dans la mesure où le début des années 2000 a été marqué par un essor de la problématique du logement des étudiants, tant en région parisienne que dans les métropoles de province. Ce phénomène risquant de perdurer dans les prochaines années, l'orientation à la hausse de cette probabilité à l'horizon 2020 demeurera.
- **Les autres modes de cohabitation augmentent et diminuent respectivement aux deux extrémités de la vie.** Depuis une vingtaine d'années, l'âge au départ du domicile des parents est stable, mais l'âge de la mise en couple est lui de plus en plus tardif. La conjonction de ces phénomènes nous amène à penser que les situations de colocation, période intermédiaire entre ces deux temps de la vie, vont continuer à se développer. Elles évolueront néanmoins à un rythme moindre qu'entre 1999 et 2006, où leur évolution a été spectaculaire. A l'autre extrémité de la vie, les autres modes de cohabitation, notamment les cohabitations intergénérationnelles, vont nettement

diminuer. Les personnes âgées vivent de moins en moins fréquemment sous le même toit que leurs descendants. D’une part, les retraites offrent aujourd’hui aux personnes âgées (dans l’ensemble) les moyens de leur autonomie, et d’autre part les progrès de l’espérance de vie (et de l’espérance de vie sans incapacité, qui progresse au même rythme), ainsi que la réduction de l’écart entre celle des hommes et des femmes, retardent l’âge de la dépendance et l’entrée en institution.

4.2.5.2. EVOLUTION NATIONALE DU NOMBRE ET DE LA REPARTITION DES MENAGES PAR TYPE A L’HORIZON 2070

Ces hypothèses relatives à l’évolution des modes de cohabitation se traduisent par la répartition suivante des ménages par catégorie à horizon 2070 :

Structure des ménages par mode de cohabitation au 1er janvier

	Personnes seules	Famille monoparentale	Couple sans enfant	Couple avec enfant(s)	Autres types de ménages	Total
1999	31.0%	8.0%	26.1%	32.9%	2.0%	100.0%
2006	33.0%	8.3%	27.1%	28.9%	2.8%	100.0%
2010	34.2%	8.2%	27.8%	26.8%	2.9%	100.0%
2015	35.7%	8.1%	28.7%	24.5%	2.9%	100.0%
2020	37.2%	8.0%	29.4%	22.4%	3.0%	100.0%
2030	38.3%	7.7%	30.1%	20.9%	3.0%	100.0%
2040	39.4%	7.6%	29.9%	20.1%	3.0%	100.0%
2050	40.0%	7.6%	29.7%	19.8%	3.0%	100.0%
2060	40.3%	7.6%	29.8%	19.4%	3.0%	100.0%
2070	40.5%	7.5%	30.0%	19.0%	3.0%	100.0%

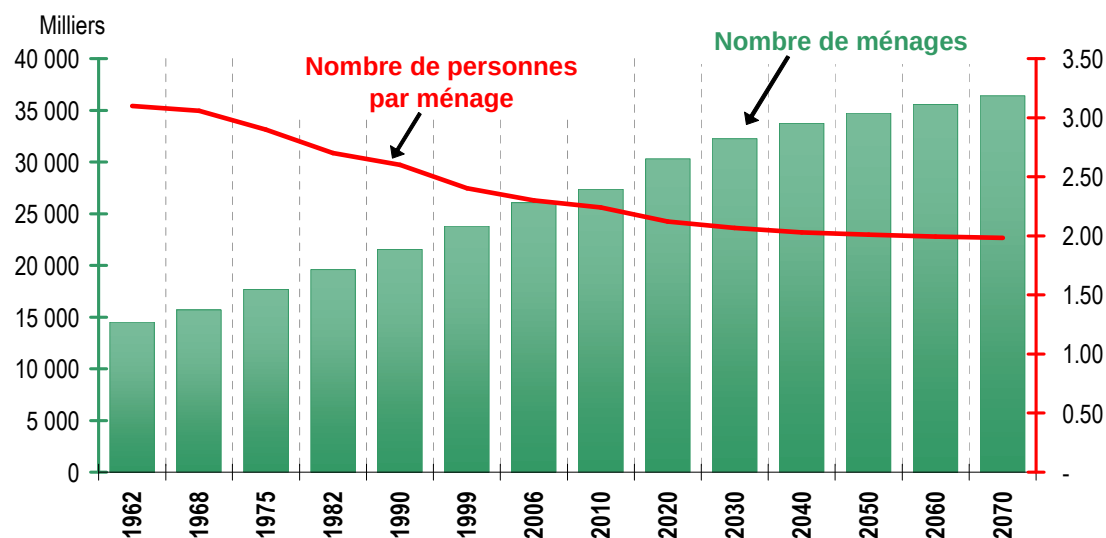
Source : INSEE et projections BIPE

L’évolution du nombre total de ménages qui en résulte influence le nombre de logements requis à horizon 2070. Pour ne pas compliquer inutilement le chiffrage, il n’a pas été fait de distinction entre logements par taille : une surface moyenne des logements a été retenue pour les maisons et pour les appartements respectivement, comme il sera rappelé plus loin.

Comme indiqué ci-dessus, les personnes seules représenteront 41% des ménages en 2070 contre 33% en 2006. Les couples sans enfant représentent la deuxième catégorie la plus importante, leur essor ayant pour corollaire la baisse de la part des couples avec enfant(s), qui représenteront près d’un ménage sur cinq en 2070. La part des familles monoparentales demeurera à son niveau actuel jusqu’en 2020, soit 8%, et diminuera par légèrement par la suite. Enfin, la part des autres types de ménages atteindra 3% du total des ménages en 2070.

Une des conséquences directes de l’augmentation du nombre de personnes vivant seules et des couples sans enfant est la baisse de la taille moyenne des ménages, tendance déjà à l’œuvre depuis de nombreuses années : à l’horizon 2070, selon nos projections, cette taille moyenne passerait sous la barre des 2 personnes par ménage (1,98).

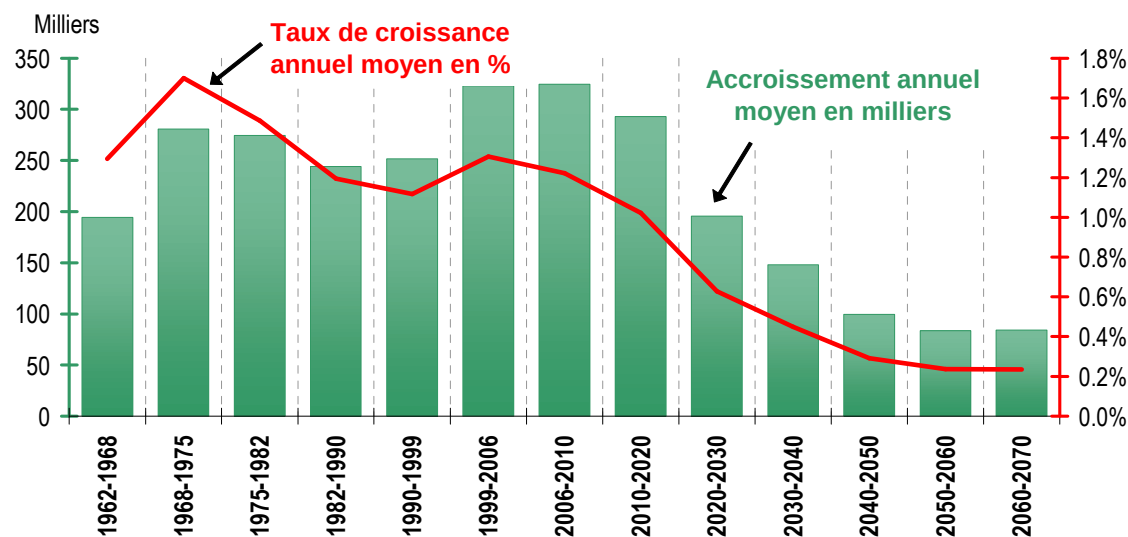
Evolution du nombre de ménages et du nombre de personne par ménage



Source : INSEE et projections BIPE

Cela se traduit par la création nette d'environ 161 000 nouveaux ménages chaque année entre 2006 et 2070. Cette progression sera plus vive en début de période : 302 000 ménages de plus par an entre 2006 et 2020, puis 122 000 ménages entre 2020 et 2070.

Accroissement du nombre de ménages



Source : INSEE et projections BIPE

C'est donc presque 6 millions de ménages supplémentaires qui vont apparaître sur le territoire métropolitain entre 2006 et 2070. Le nombre total de ménages va de fait dépasser la barre des 36 millions en 2070, et les taux de croissance annuels du nombre de ménages vont s'élever à de 0,5% par an au cours de cette période, soit un taux inférieur à celui observé sur le passé (plus proche de 1% par an sur longue période, supérieur entre 1999 et 2006).

Evolution de la population et des ménages de la France métropolitaine

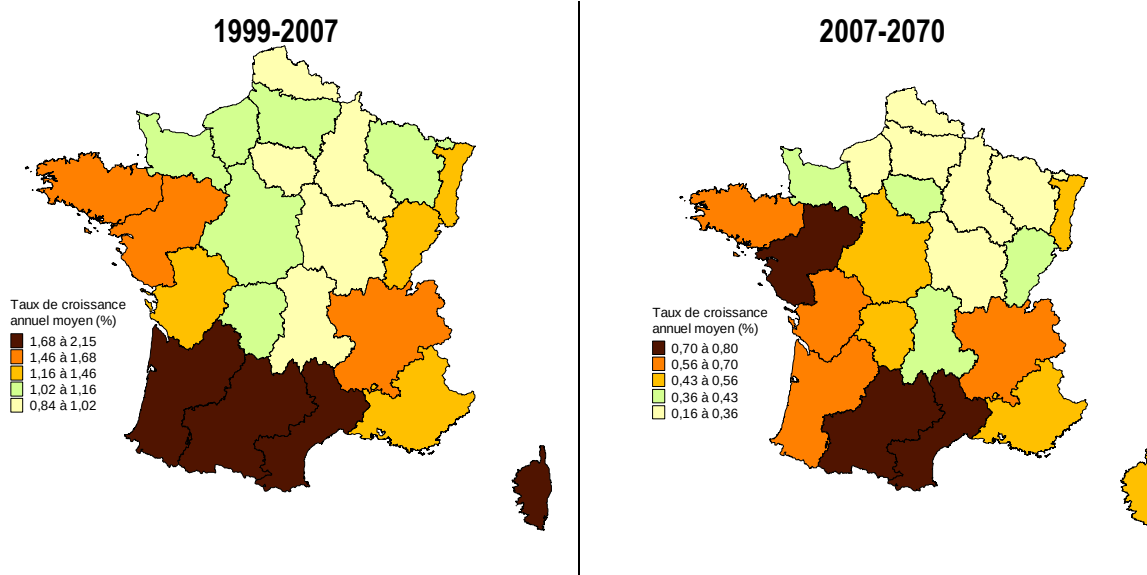
	Millions			Taux de croissance annuel moyen en %	
	1999	2006	2070	1999-2006	2006-2070
Population au 1er janvier	58 519	61 372	74 792	0.7%	0.3%
dont population des ménages	57 226	59 928	72 162	0.7%	0.3%
dont population hors ménages	1 293	1 443	2 631	1.6%	0.9%
Ménages au 1er janvier	23 808	26 069	36 411	1.3%	0.5%
Nombre de personnes par ménage	2.40	2.30	1.98		

Source : INSEE et projections BIPE

4.2.5.3. EVOLUTION REGIONALE DU NOMBRE DE MENAGES A L'HORIZON 2070

En appliquant ces évolutions au niveau des régions, on observe que les nouveaux ménages n'apparaîtront pas de façon uniforme sur le territoire, et que les créations de ménages continueront à faire apparaître les particularismes de chaque région, comme le montrent les cartes suivantes.

Accroissement des ménages des régions



Source : INSEE, calcul et projections BIPE

Outre un ralentissement du rythme de croissance du nombre de ménages, les tendances qui émergent de nos projections sont les suivantes :

- Les régions en forte croissance au cours des années récentes (Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Pays de la Loire, Bretagne, Aquitaine, Rhône-Alpes, Poitou-Charentes) vont conserver un rythme de croissance supérieur à la moyenne nationale (plus de 0,6% par an)
- Les régions comme la Corse, la Provence-Alpes-Côte d'Azur, le Limousin, le Centre et l'Alsace vont connaître un rythme de croissance proche de la moyenne nationale.

- Les autres régions devraient croître à un rythme largement inférieur à la moyenne nationale.

Ménages par région en France métropolitaine en 1999, 2007 et projections à 2070 (en milliers)

	1999	2007	2070	Milliers	1999	2007	2070
Ile-de-France	4 510	4 863	6 319	Bretagne	1 210	1 364	2 112
Champagne-Ardenne	540	577	639	Poitou-Charentes	687	772	1 125
Picardie	701	761	954	Aquitaine	1 212	1 386	2 120
Haute-Normandie	698	758	947	Midi-Pyrénées	1 071	1 239	1 997
Centre	1 000	1 089	1 447	Limousin	312	339	451
Basse-Normandie	572	627	796	Rhône-Alpes	2 274	2 560	3 880
Bourgogne	671	721	898	Auvergne	556	602	778
Nord-Pas-de-Calais	1 491	1 608	1 889	Languedoc-Roussillon	969	1 128	1 820
Lorraine	909	987	1 159	Provence-Alpes-Côte d'Azur	1 896	2 117	2 944
Alsace	679	757	994	Corse	106	126	179
Franche-Comté	452	499	647	France métropolitaine	23 808	26 352	36 411
Pays de la Loire	1 293	1 473	2 317				

Source : INSEE et projections BIPE

4.3. MODULE HABITAT-LOGEMENT

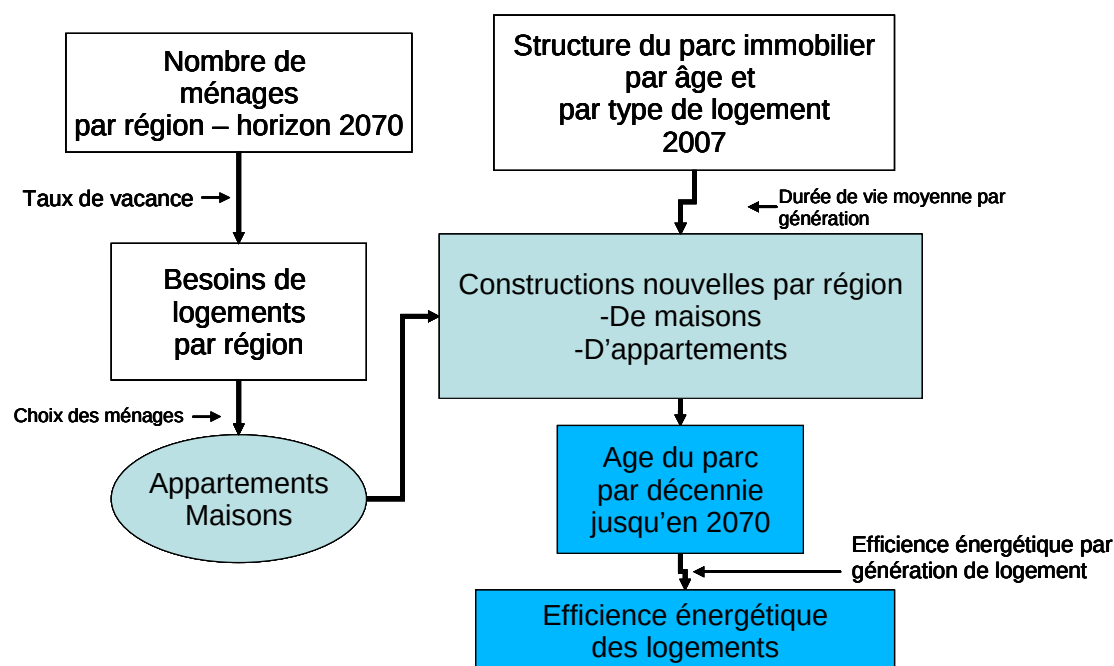
4.3.1. HYPOTHESES

L'analyse menée dans le cadre du module habitat porte à la fois sur les échelons nationaux et régionaux. Le module de prévision se base, en premier lieu, sur des hypothèses relatives à l'évolution du nombre de ménages par région, afin de déterminer le besoin de résidences principales. En effet, par définition, le nombre de résidences principales est égal au nombre de ménages. Ainsi, la création d'un nouveau ménage se traduit en bout de chaîne par le besoin d'un logement neuf supplémentaire (à taux de vacance inchangé).

Les besoins de logements sont en outre déterminés par l'évolution du parc vacant, par les destructions et par l'évolution du nombre de résidences secondaires et de logements occasionnels.

Dans ce module, l'ensemble des calculs sont faits tout d'abord à l'échelle régionale, puis agrégés à l'échelle nationale. En effet, les évolutions des structures démographiques par région peuvent entraîner des besoins de construction supérieurs dans certaines régions à forte démographie de ménages, et moindres dans des régions moins dynamiques, où le parc actuel suffit à assurer les besoins futurs.

Le schéma ci-dessous rappelle la démarche retenue par le BIPE pour anticiper le parc de logements à l'horizon considéré.



Le BIPE a défini quelques hypothèses de cadrage communes aux deux scénarios d'évolution future du parc, et des hypothèses spécifiques à chacun d'eux.

4.3.1.1. LES HYPOTHESES COMMUNES SONT LES SUIVANTES :

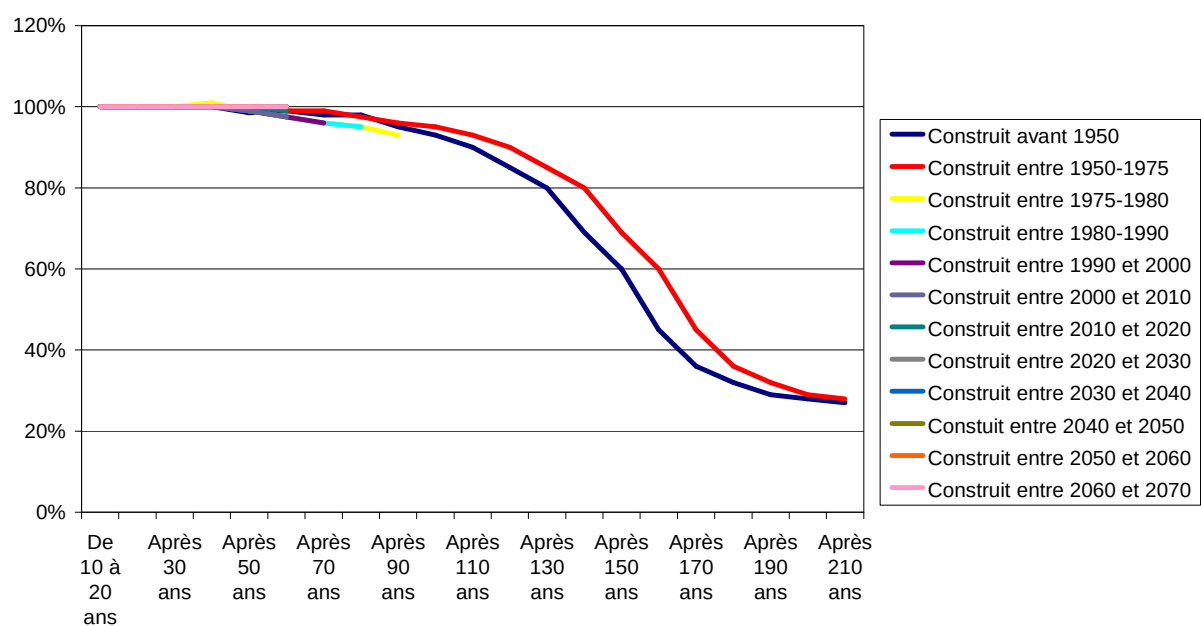
Pour évaluer les besoins en construction, le BIPE a fait des hypothèses sur la durée de vie des logements par génération et par type de logement (maison ou appartement). Ces hypothèses sont représentées graphiquement sur les deux graphiques ci-après. Les différences dans les taux de survie selon l'année de construction reflètent la qualité moyenne du bâti aux différentes époques : inférieure dans les années 1970, au cours desquelles on a beaucoup construit, rapidement, la qualité des constructions est supposée supérieure auparavant, ce qui se traduit par une plus grande longévité du parc ancien. Il est toutefois évident que la durée de vie des logements ne dépend pas uniquement de l'année d'achèvement : en effet, au-delà de l'effet qualité, les durées de vie dépendent également de l'obsolescence urbaine, du taux d'entretien-rénovation, ainsi que de la localisation des logements.

Les courbes présentées ci-après supposent un taux de démolition relativement élevé au-delà d'une durée de vie moyenne de 90 ans pour les logements plus anciens, et de 70 ans pour les plus récents. Notons que le taux de démolition observé actuellement (2008) correspond à une hypothèse de durée de vie du parc de logements très supérieure à l'hypothèse retenue ici, puisqu'il s'agit de près de 400 ans : il nous semble que la mauvaise conjoncture et la pénurie actuelle de logements expliquent ce taux de démolition particulièrement faible au regard de la structure par âge du parc actuel de bâtiments.

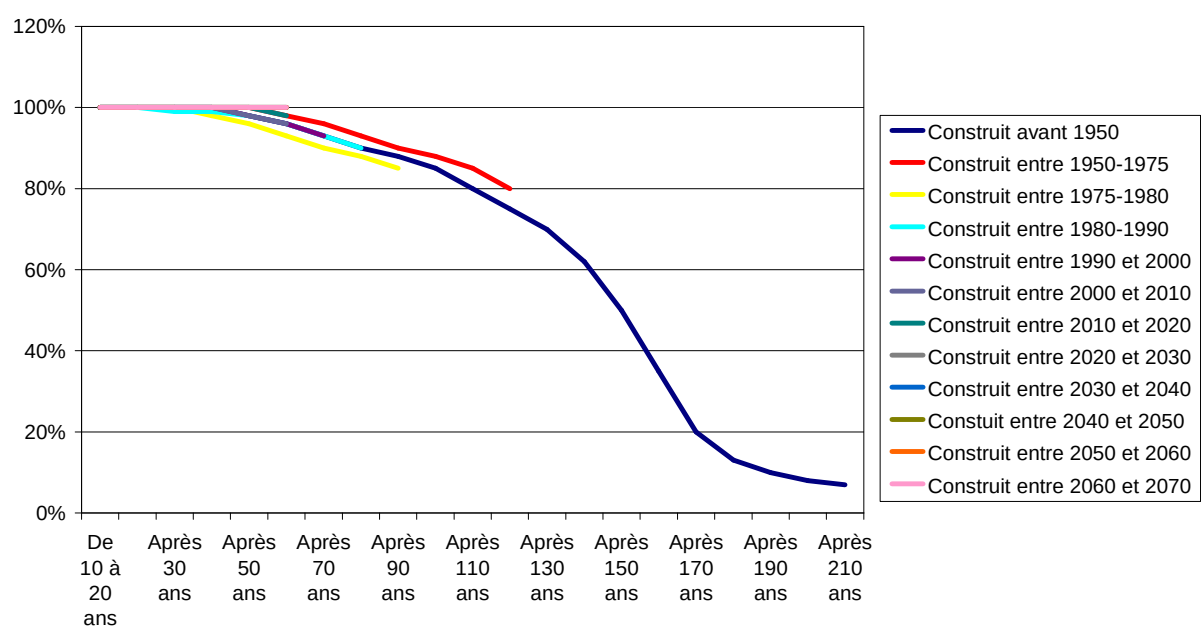
Ces hypothèses sont structurantes pour la suite dans la mesure où elles ont une conséquence directe sur le rythme de construction, donc sur la capacité des ménages à se déplacer sur le territoire, et sur les taux d'artificialisation des sols. Elles peuvent toutefois être modifiées aisément. Une augmentation de la durée de vie des maisons ou des appartements entraînerait toutefois une diminution de l'activité de la construction, donc des changements moins importants de l'implantation de l'habitat sur le territoire, et des améliorations de l'efficacité énergétique potentiellement aussi moins importants.

Les taux de survie présentés ci-après sont supposés identiques sur tout le territoire. De même, les taux de rénovation par génération de logement sont supposés identiques dans toutes les régions. En revanche, le nombre de bâtiments à construire variera selon les régions en fonction de la croissance démographique de chaque région.

Durée de vie des maisons par génération



Taux de survie des appartements par génération



Comme illustré ci-avant, nous faisons l'hypothèse que les maisons ont une durée de vie plus longue que les appartements. Les maisons construites avant 1950 sont supposées durer très longtemps car principalement construites en pierre ou en briques. Les logements construits pendant les 30 glorieuses devraient quant à eux résister moins longtemps que ceux construits dans les années antérieures, notamment les appartements (barres HLM). A partir des années 1970, la France est en effet entrée dans une dynamique de construction à outrance de maisons et d'immeubles en parpaing : la qualité de la construction s'est dégradée. Ces dernières années, la durée de vie des logements a tendance à augmenter grâce aux améliorations de bâti et aux améliorations énergétiques.

Précisons aussi que les périodes de conjoncture favorable s'accompagnent d'une accélération des démolitions, dans la mesure où l'on construit plus de nouveaux logements.

Précisons également que l'activité de construction-démolition devrait s'accélérer dans les années à venir en raison, notamment, du PNRU (programme national de rénovation urbaine) qui prévoit un objectif de 250 000 constructions et 250 000 démolitions au niveau national (dans le secteur social).

4.3.1.2. HYPOTHESES SPECIFIQUES AUX DEUX SCENARIOS

Les hypothèses spécifiques aux deux scénarios sont volontairement contrastées pour tenter d'anticiper au mieux les évolutions des préférences d'habitat des ménages et de l'occupation du territoire.

Le scénario **étalement urbain** part du constat suivant : le territoire se péri-urbanise dans une dynamique de dispersion de la population. Les espaces urbains se dilatent progressivement pour se développer en périphérie des villes. Le coût de plus en plus élevé des logements urbains est une des raisons pouvant justifier ce phénomène. L'attractivité des territoires périurbains peut également s'expliquer par les nouveaux arbitrages des français attirés par un cadre de vie plus verdoyant et plus calme.

Ce scénario retient l'hypothèse que **30% des nouveaux ménages choisissent de vivre en appartement, et 70% privilégient des maisons individuelles**. Le nombre d'étages moyen dans un immeuble est de quatre en 2007 et diminue légèrement ans pour atteindre 3,8 en 2070. Ces choix sont identiques dans toutes les régions. La superficie moyenne des logements varie toutefois selon les régions, les écarts entre régions en 2070 restant proportionnels à ceux observés en 2008.

Enfin, nous faisons l'hypothèse que le taux de vacance des maisons et des appartements, respectivement de 3,5% et 4,7% en 2009, reste inchangé sur l'horizon de prévision.

A l'inverse, le scénario **concentration urbaine** s'inscrit dans une logique de développement durable et est censé répondre au problème de manque d'espace. Cette nouvelle dynamique territoriale, qui touche surtout le Japon et les Etats-Unis, commence à apparaître en Europe. Les villes se verticalisent, les immeubles deviennent de plus en plus hauts, et la densité de population croît fortement dans les pôles urbains (variation annuelle 1999-2006 de 4 habitants au km² contre 0,9 en périurbain et 0,2 en espace rural)¹⁰. On assiste également à une concentration des quartiers d'affaires dans les métropoles : le pouvoir économique se concentre dans les grandes villes.

Ce scénario se fonde sur l'hypothèse que **70% des nouveaux ménages choisissent de vivre en appartement**. Le nombre d'étages dans un immeuble, égal à quatre en 2007, est supposé augmenter progressivement pour atteindre 5 en 2070. Dans ce scénario aussi, les choix entre maisons/appartements des nouveaux ménages sont identiques dans toutes les régions, et le taux de vacance des maisons et des appartements, respectivement de 3,4% et 2,6% en 2009, est stable sur l'ensemble de la période. Le dynamisme de la croissance du nombre de ménages entre régions va toutefois définir le pourcentage de nouvelles constructions d'appartements ou de maisons respectivement : dans les régions où la population devrait rester stable, il y aura donc peu de déplacements dans les types de construction, tandis que dans les régions à forte croissance démographique les changements de structure du parc seront plus significatifs.

Comme dans le scénario d'étalement, la superficie moyenne des logements varie selon les régions en fonction de la situation observée actuellement. Les écarts de taille moyenne sont supposés constants sur l'horizon de prévision.

Concernant l'efficacité énergétique des logements, le BIPE a supposé une amélioration tendancielle de l'efficacité énergétique des nouvelles constructions, et une amélioration des performances des logements existants qui dépend du taux de rénovation des bâtiments. Pour l'instant, il n'a pas été fait de différenciation entre scénarios : l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments dépend uniquement de la date d'achèvement (de la « génération ») du bâtiment. Le BIPE n'a pas non plus fait de distinction entre les gains d'énergie possibles dans les maisons ou immeubles d'appartement respectivement. De telles hypothèses peuvent toutefois être intégrées. En effet, on peut imaginer que les maisons individuelles se prêtent plus à l'installation d'équipements utilisant des énergies renouvelables, telles des panneaux photovoltaïques ou des éoliennes. Le taux de propriétaires est également supérieur, ce qui plaide en faveur d'une plus grande sensibilisation de ces derniers à la recherche d'économies

¹⁰ INSEE

d'énergie. On pourrait, sur cette base, supposer une baisse de la consommation d'énergie 'marchande' des maisons individuelles¹¹ nettement plus rapide que ce qui ne serait possible pour les immeubles d'appartements. Cette hypothèse n'a toutefois pas été retenue : en effet, le coût de tels efforts de rénovation est assez élevé, au regard du coût de l'amélioration de l'efficacité énergétique des immeubles d'appartement. Les appartements étant en général plus petits, le coût de la rénovation est inférieur. Dans les deux scénarios, on retient donc des gains d'efficacité énergétique des parcs fonction uniquement de l'année de construction et non du type de bâtiment.

4.3.2. RESULTATS

Les graphes qui suivent présentent les conséquences de ces hypothèses sur la structure du parc par âge/génération, entre 2007 et 2070 respectivement, par pas de 20 ans. Il s'agit, sur les graphiques, de la structure du parc qui résulte de la somme des différentes régions. Notons que la déformation des « pyramides » est accentuée sur le graphique par le fait que les périodes d'achèvement sur le passé ne sont pas homogènes.

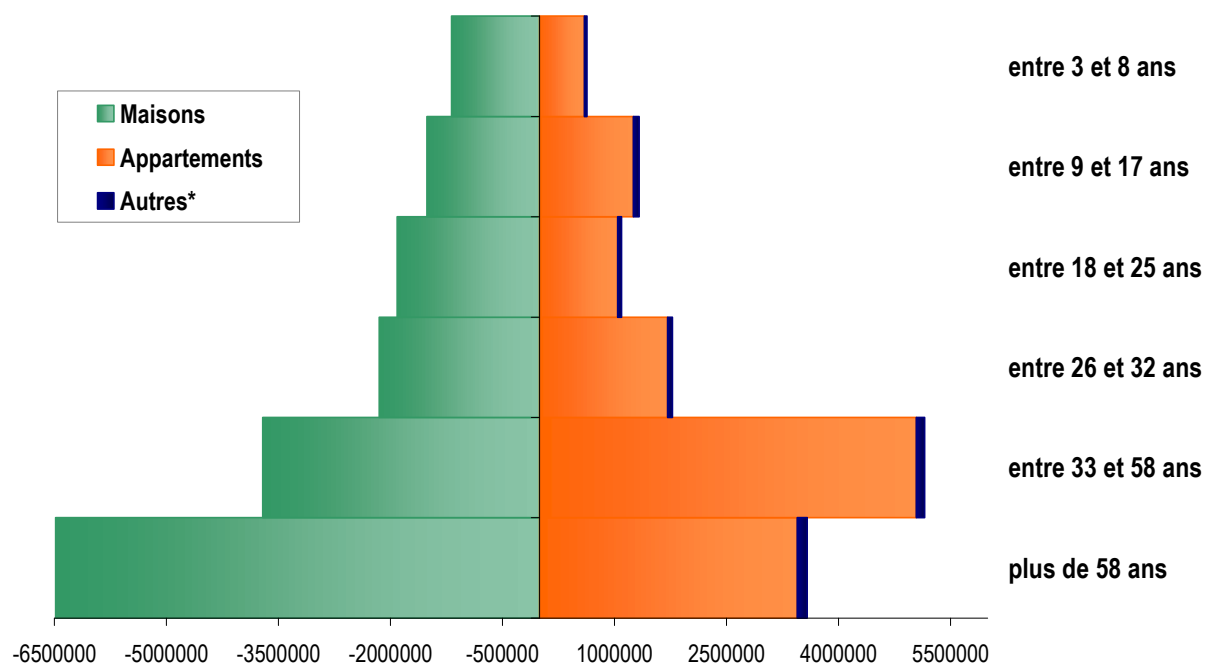
En France, en 2010, le parc de maisons s'élève à 18 417 987, le parc d'appartements à 14 754 875 et les autres logements (logement-foyer, chambre d'hôtel, habitation de fortune, pièce indépendante) à 506 836.

Le parc de maisons et d'appartements est constitué majoritairement de logements construits avant 1975 (respectivement 55% et 58%). Les autres logements existants sont pour la plupart construits avant 1975 et de 1990 à 1998.

¹¹ La consommation d'énergie totale diminuant toutefois moins : cette consommation d'énergie totale comprend en effet les consommations d'énergie « achetées » à des tiers, et la production individuelle (=auto-consommation).

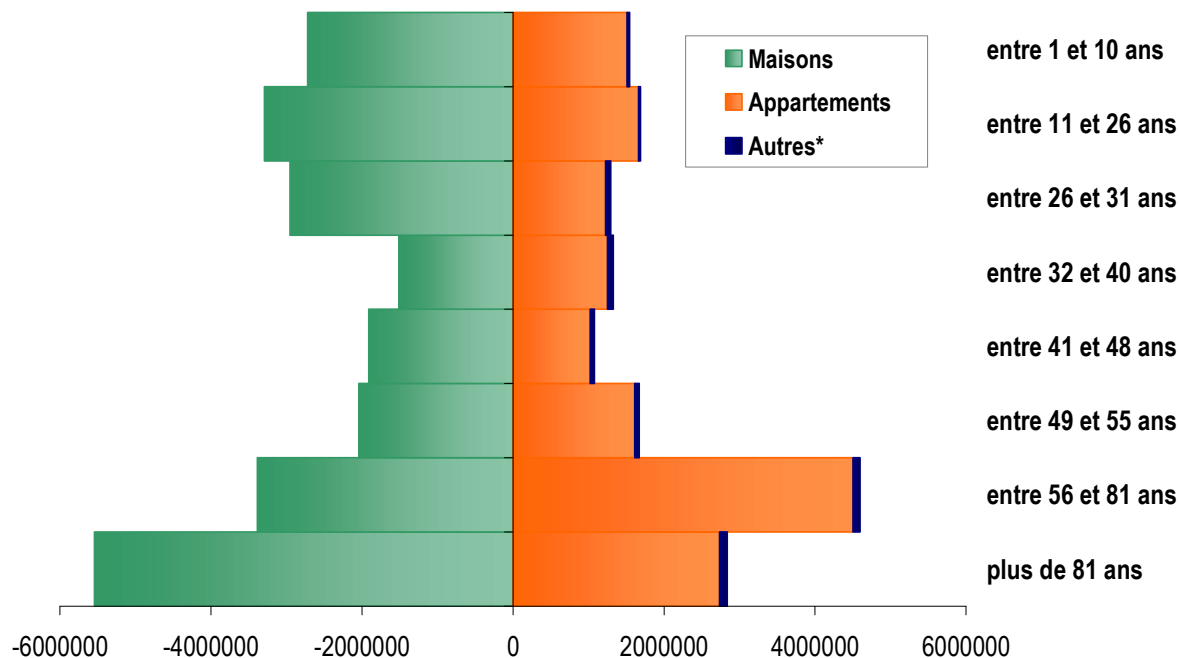
4.3.2.1. EVOLUTION DU PARC DE LOGEMENTS DANS LE SCENARIO ETALEMENT

La pyramide des âges des logements en 2007



Source : Recensement INSEE 2007, calculs BIPE

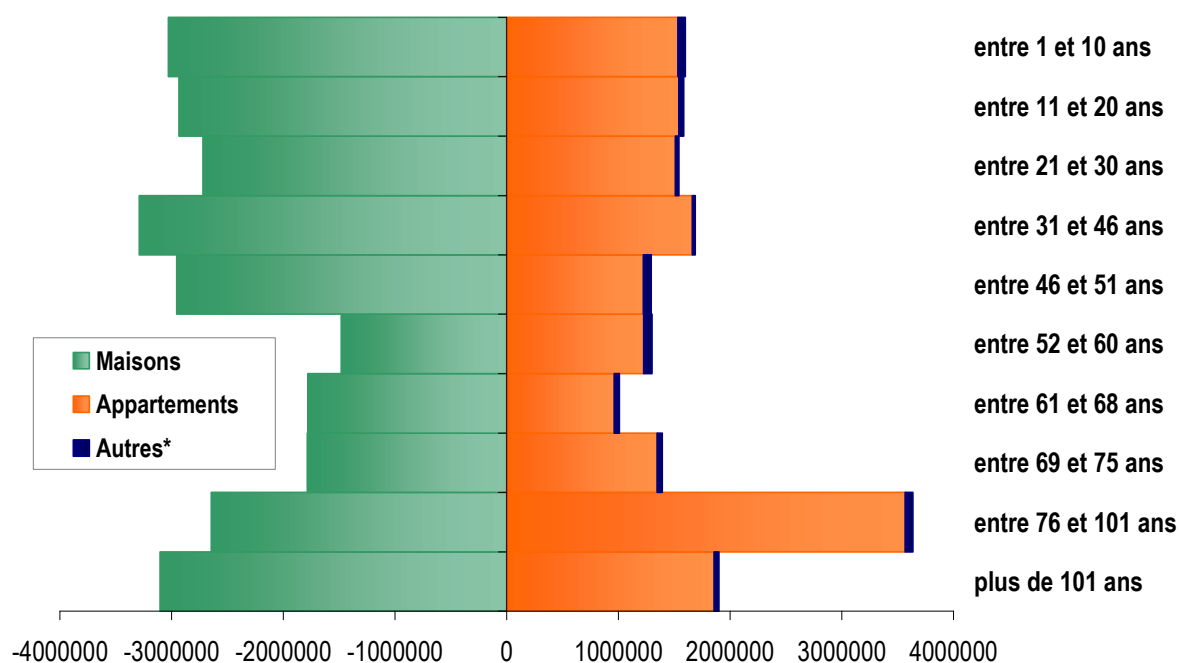
La pyramide des âges des logements en 2030 – scénario étalement



Source : Calculs BIPE

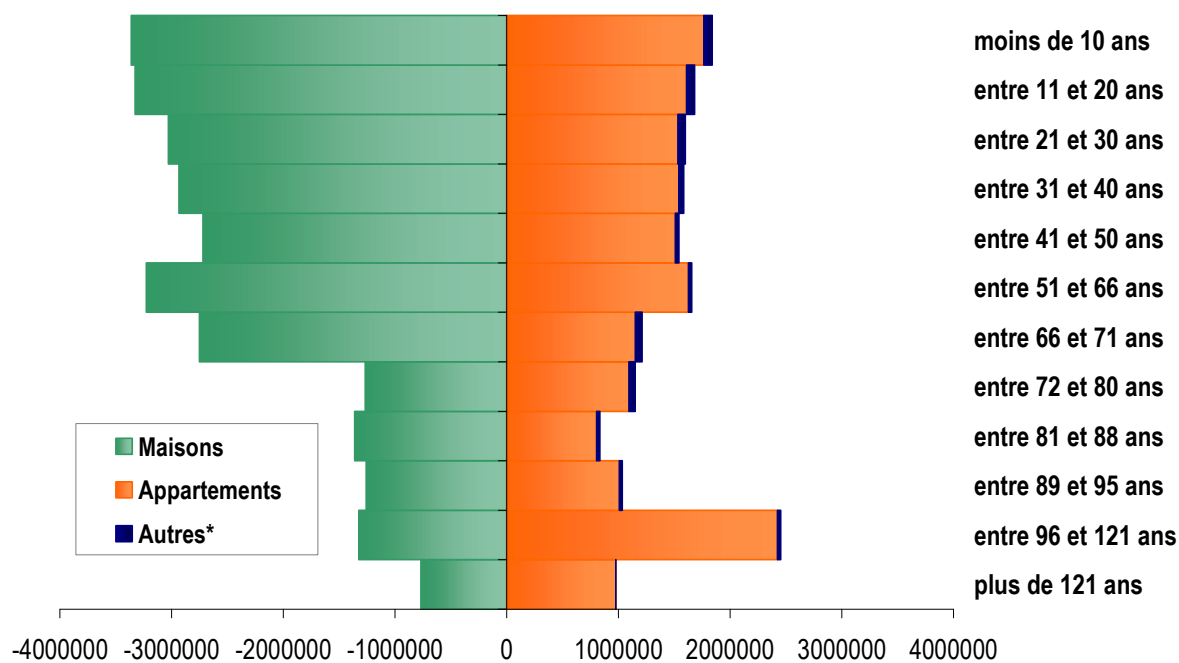
En 2030, dans le scénario étalement, le parc de maisons s'élèvera à 22 268 809, le parc d'appartements à 15 517 074 et le parc des autres logements à 515 232.

La pyramide des âges des logements en 2050 – scénario étalement



Source : Calculs BIPE

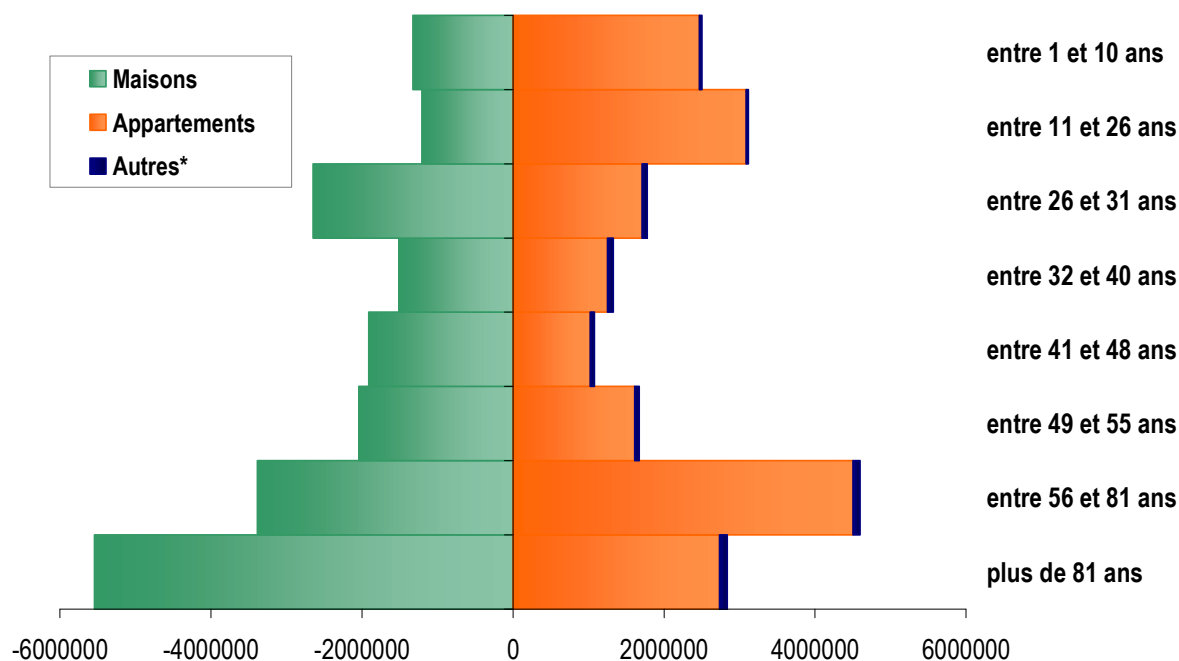
La pyramide des âges des logements en 2070 – scénario étalement



Source : Calculs BIPE

En 2070, le parc de maisons s'élèvera à 25 738 725, le parc d'appartements à 17 048 922 et le parc d'autres logements à 521 514.

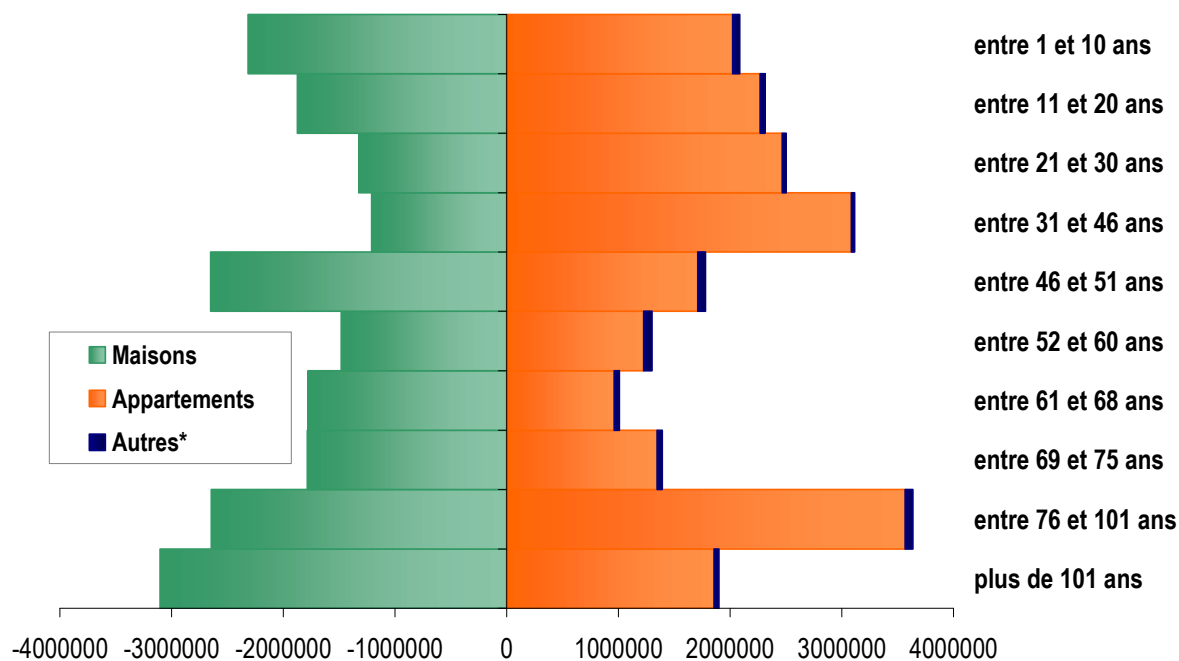
La pyramide des âges des logements en 2030 – scénario concentration



Source : Calculs BIPE

En 2030, dans le scénario concentration, le parc de maisons s'élèvera à 19 473 289, le parc d'appartements à 18 387 856 et le parc d'autres logements à 515 232.

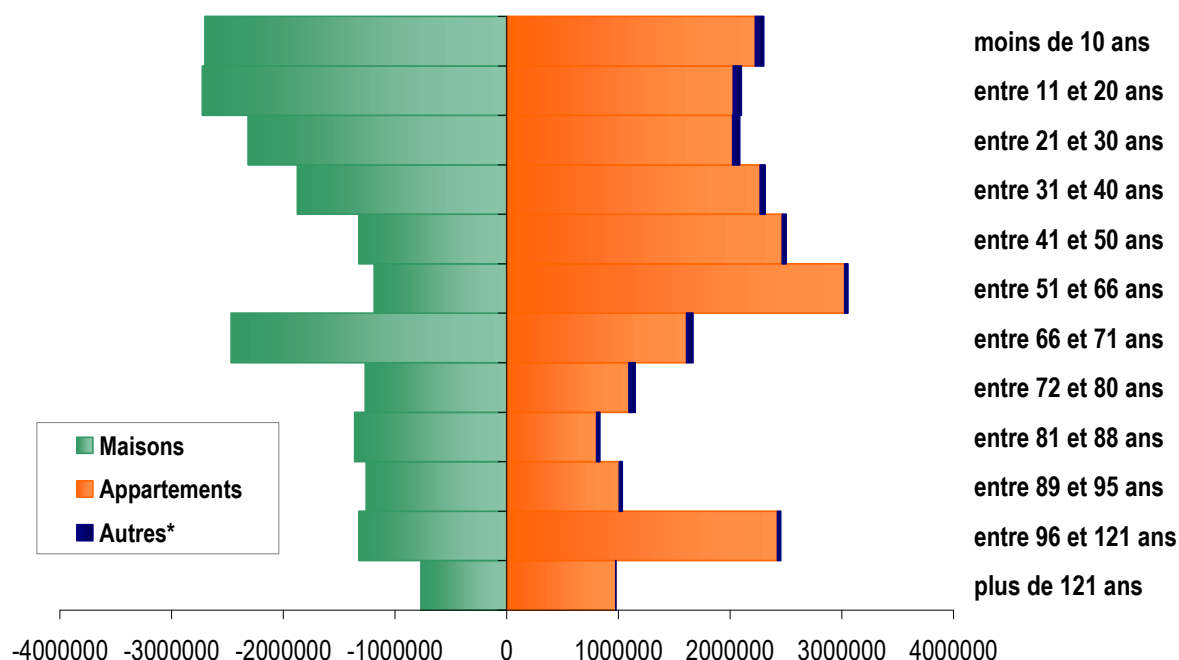
La pyramide des âges des logements en 2050 – scénario concentration



Source : Calculs BIPE

En 2050, le parc de maisons s'élèvera à 20 360 373, le parc d'appartements à 20 519 764 et le parc d'autres logements à 519 059.

La pyramide des âges des logements en 2070 – scénario concentration



Source : Calculs BIPE

En 2070, le parc de maisons s'élèvera à 20 960 396, le parc d'appartements à 21 962 167 et le parc d'autres logements à 521 514.

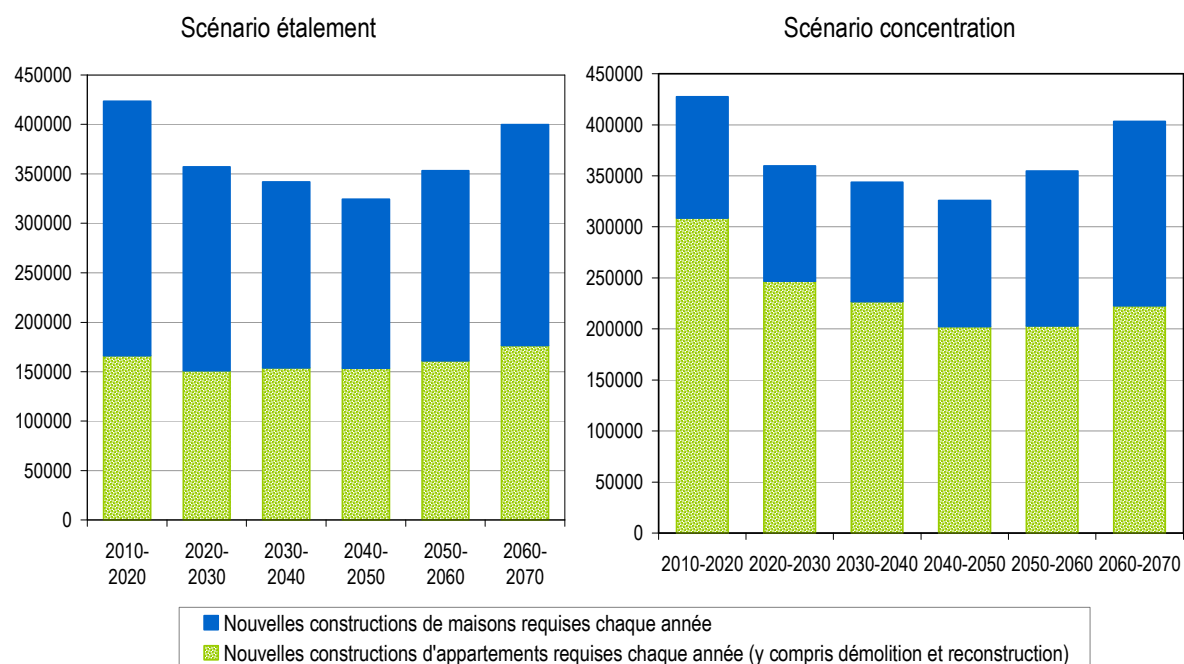
4.3.2.3. COMPARAISON DES DEUX SCENARIOS

Le graphe qui suit présente la structure des nouveaux logements par décennie à horizon 2070, dans les deux scénarios.

Dans le scénario étalement, 146 398 nouveaux appartements, 225 565 nouvelles maisons et 26 264 « autres » logements sont construits en moyenne chaque année entre 2010 et 2070.

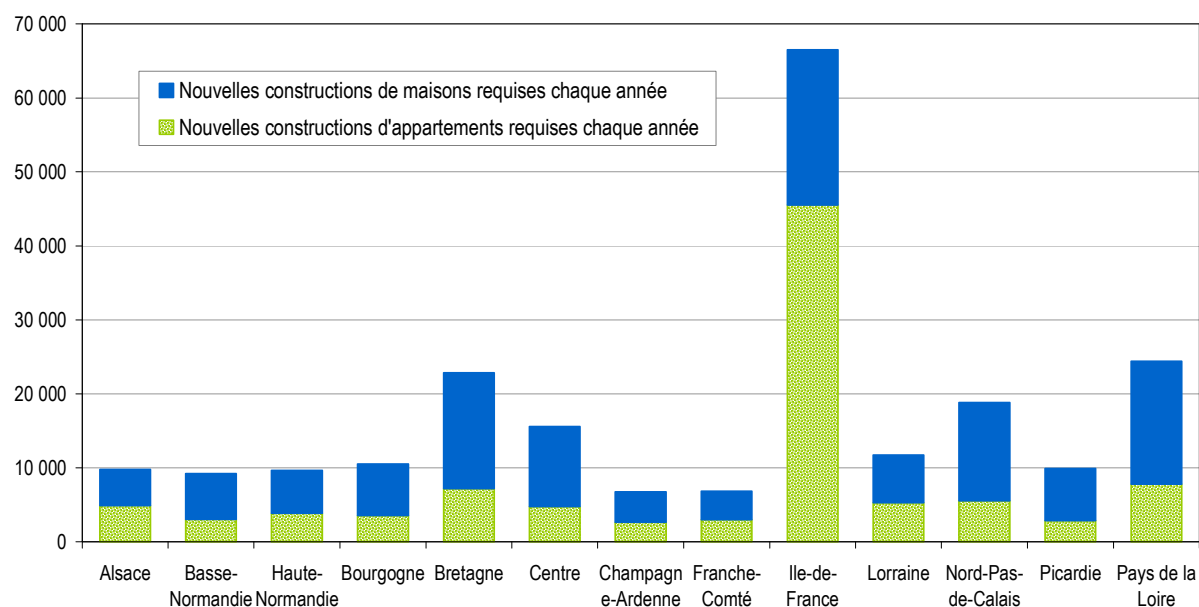
Dans le scénario concentration, 238 401 nouveaux appartements et 135 911 nouvelles maisons sont requis en moyenne chaque année entre 2010 et 2070.

Evolution du nombre de logements construits

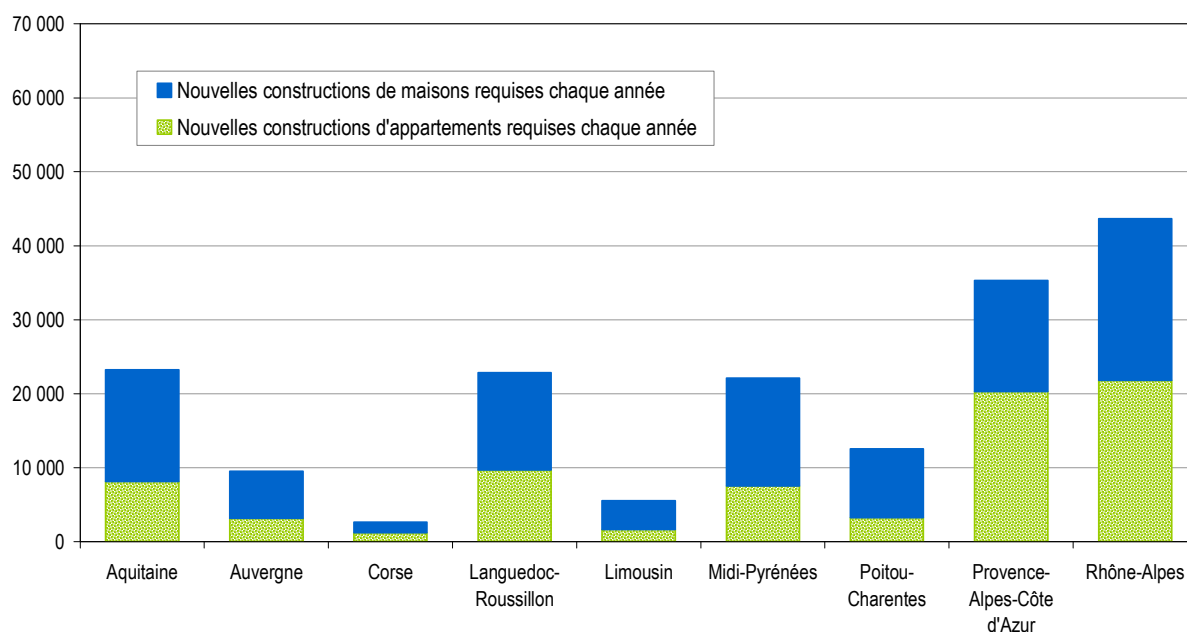


Source : Calculs BIPE

Nombre de logements requis par région en 2070 dans le scénario étalement (1)

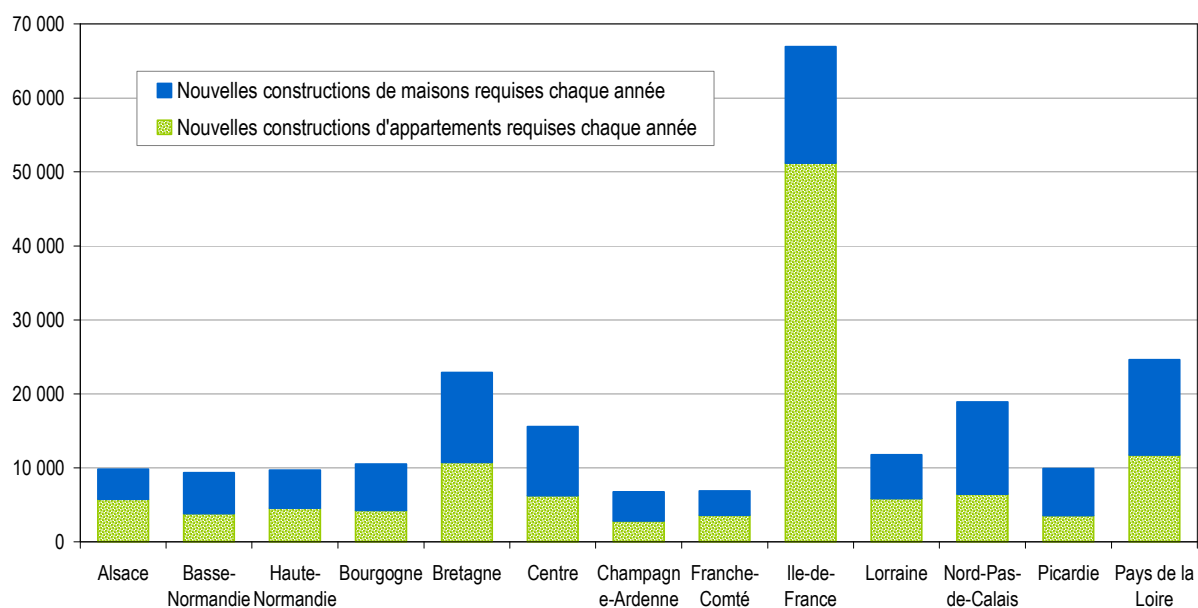


Nombre de logements requis par région en 2070 dans le scénario étalement (2)

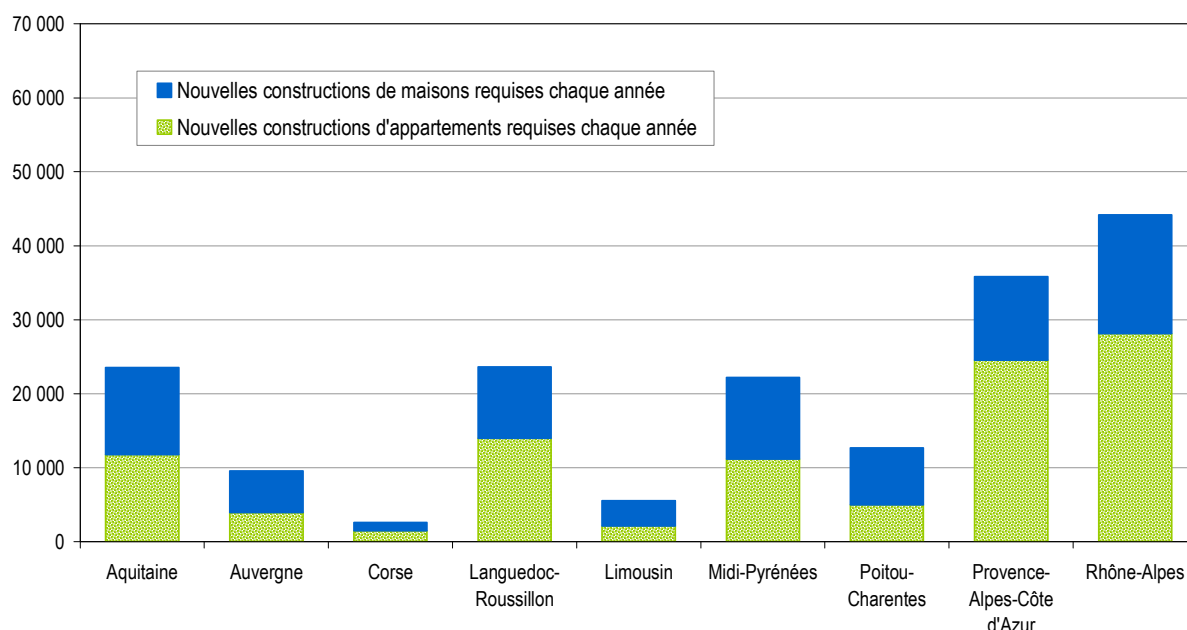


Les deux graphes ci-avant présentent la répartition des nouvelles constructions entre maison individuelle et appartements, dans le scénario étalement, et par région. Le graphe qui suit présente cette même information par région dans le scénario concentration, où une part plus importante des nouvelles constructions sont des appartements.

Nombre de logements requis par région en 2070 dans le scénario concentration (1)



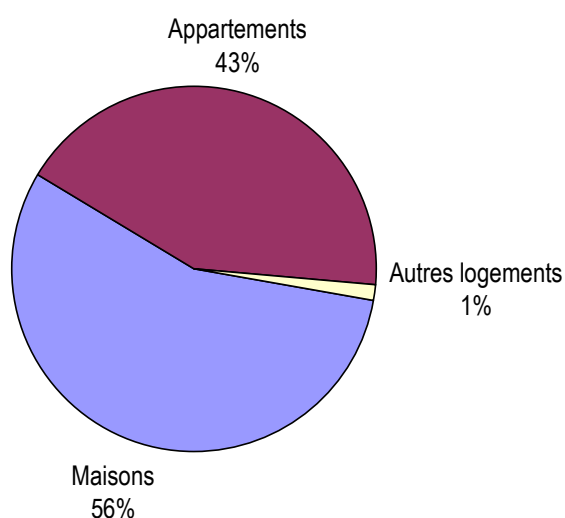
Nombre de logements requis par région en 2070 dans le scénario concentration (2)



Quel que soit le scénario, les besoins en logement à l'horizon 2070 se concentrent dans les régions Ile-de-France, Provence-Alpes-Côte-D'azur et Rhône-Alpes. A l'inverse, le Limousin et la Corse sont les deux régions où les besoins de nouveaux logements seront les plus faibles.

Le graphique qui suit présente l'évolution de la structure du parc entre 2007 et 2070 au niveau national dans les deux scénarios.

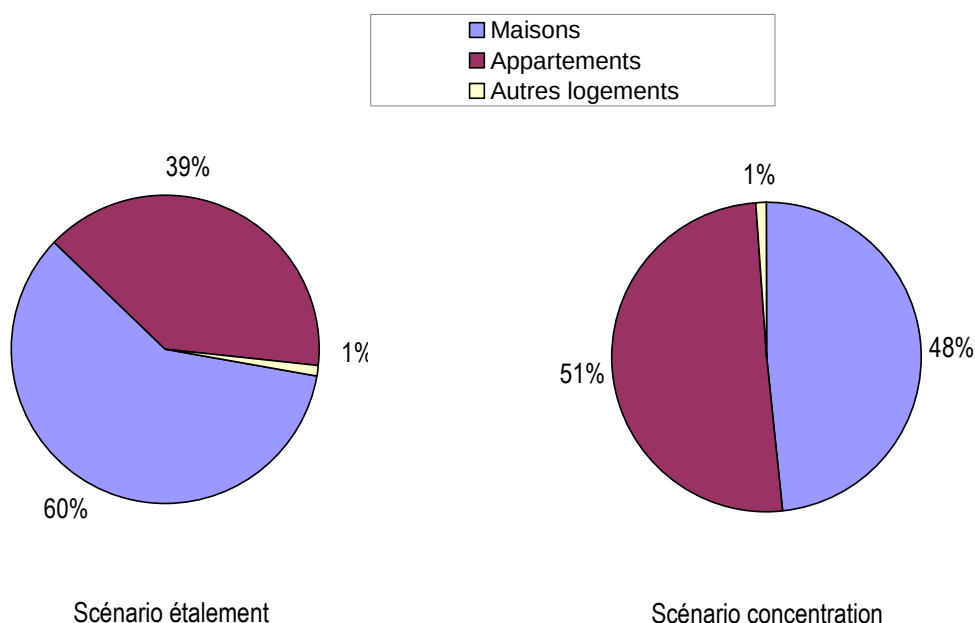
Structure du parc par type de logement en 2007



Source : INSEE - RP2007, Calculs BIPE

En 2007, le parc de logements se compose pour 56% de maisons, 43% d'appartements et seulement 1% d'autres logements. En 2070, le parc comprendra 39% d'appartements dans le scénario étalement, et 51% dans le scénario concentration, comme illustré ci-après.

Structure du parc par type de logements en 2070



Source : Calculs BIPE

4.3.2.4. CONSEQUENCES EN TERMES DE SURFACES ARTIFICIALISEES

Le tableau qui suit présente les conséquences de ces évolutions en termes d'occupation des sols, au niveau national. La part occupée par l'habitat sur le territoire français augmente dans les deux scénarios. De 2,2% en 2010, elle progresse à 2,5% dans le scénario concentration et à 4,2% dans le scénario étalement en 2070.

Les surfaces artificialisées, c'est-à-dire les surfaces retirées de leur état naturel, forestier ou agricole, qu'elles soient bâties ou non, passent de 9,4% du territoire en 2010 à 10,0% dans le scénario concentration et 20,1% dans le scénario étalement.

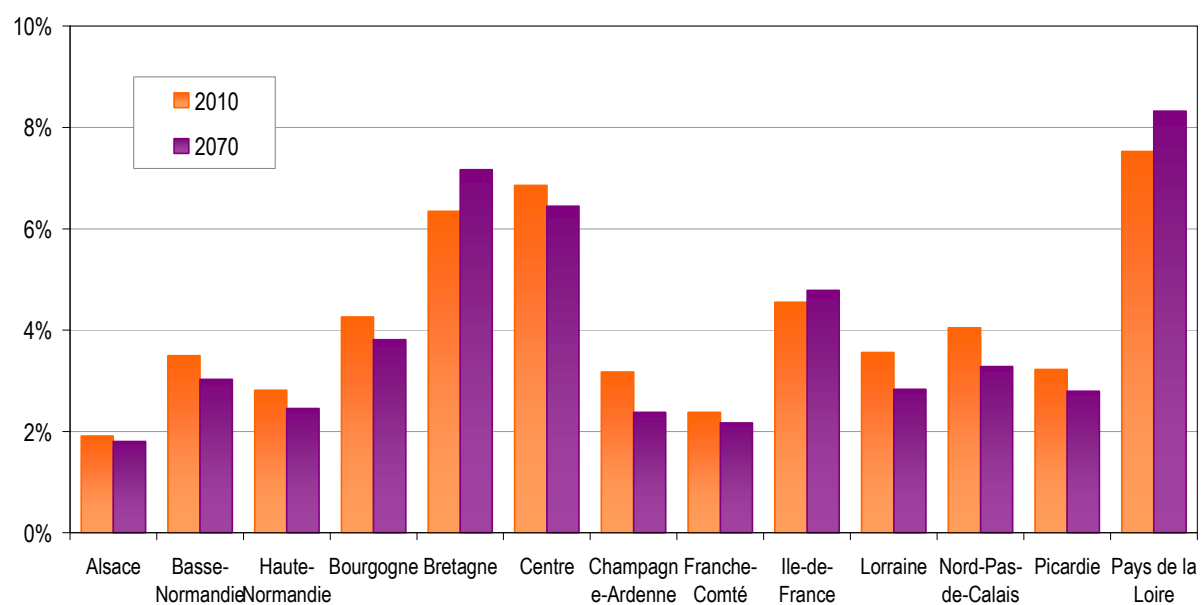
Part du territoire occupée respectivement par l'habitat / autres surfaces construites

		2070	
	2010	concentration	étalement
Habitat	2,1%	2,5%	4,2%
Autres	7,3%	7,5%	15,9%
Total	9,4%	10,0%	20,1%

La différence entre ces deux évolutions correspond à la part occupée par les infrastructures de transport et autre « artificialisation » des sols liées à l'habitat (réseaux énergétiques et autres, routes et chemins, parcs, jardins, etc.). L'augmentation de cette part est très contrastée selon les deux scénarios : alors qu'elle ne progresse que de 0,2 points dans le scénario concentration, elle augmente de 8,6 points dans le scénario étalement. En effet, dans le scénario étalement, la construction de maisons individuelles dans des zones rurales et de nouvelles zones péri-urbaines entraîne un besoin de construction de nouvelles routes et autres infrastructures qui retirent ces surfaces des surfaces disponibles pour l'agriculture ou les forêts.

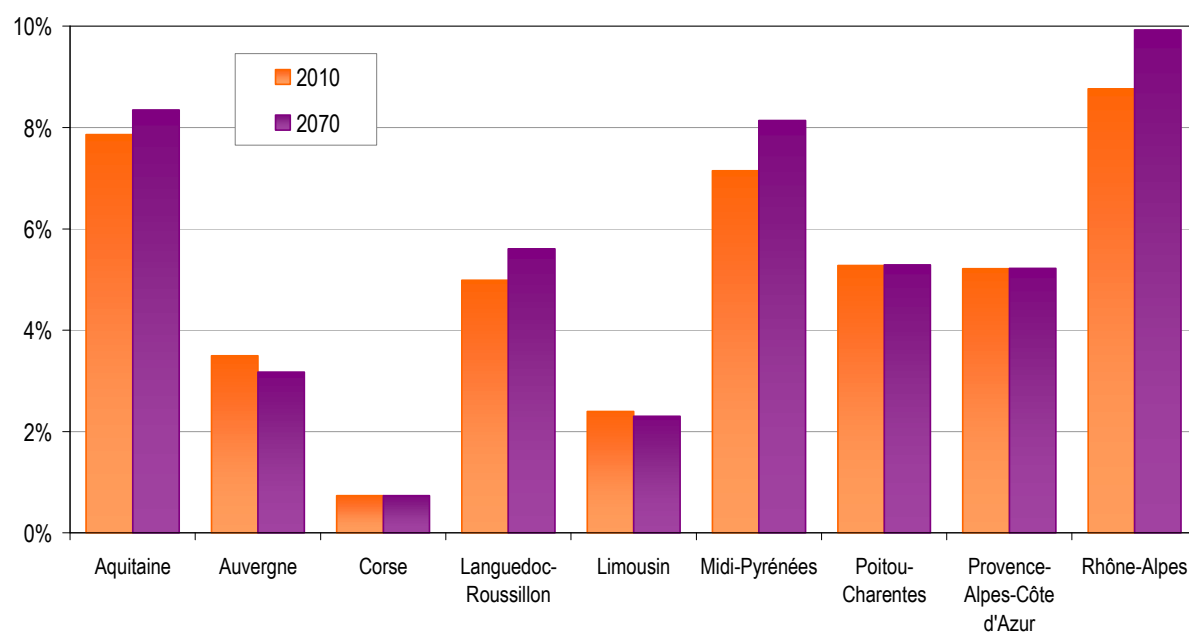
Dans le scénario étalement, la part de la surface artificialisée régionale dans la surface artificialisée nationale a tendance à diminuer dans les régions du Nord et à s'accroître dans les régions du Sud. Alors qu'en 2010, la part moyenne des régions du Nord est de 4,1% et de 5,2% pour les régions du Sud, elle passe respectivement à 3,9% et à 5,5% en 2070. Sur l'ensemble du territoire français, la surface artificialisée, de 5 199 458 hectares en 2010, va quasiment doubler pour atteindre 11 143 487 hectares en 2070.

Part de la région dans la surface artificialisée nationale (scénario étalement)



Source : Calculs BIPE

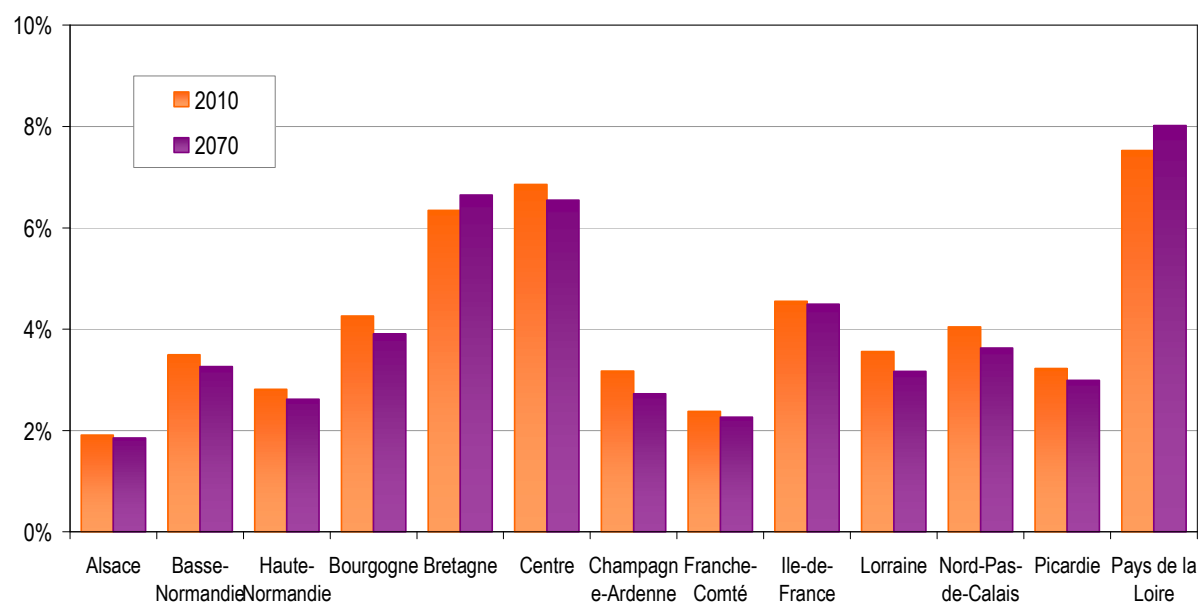
Part de la région dans la surface artificialisée nationale (scénario étalement - suite)



Source : Calculs BIPE

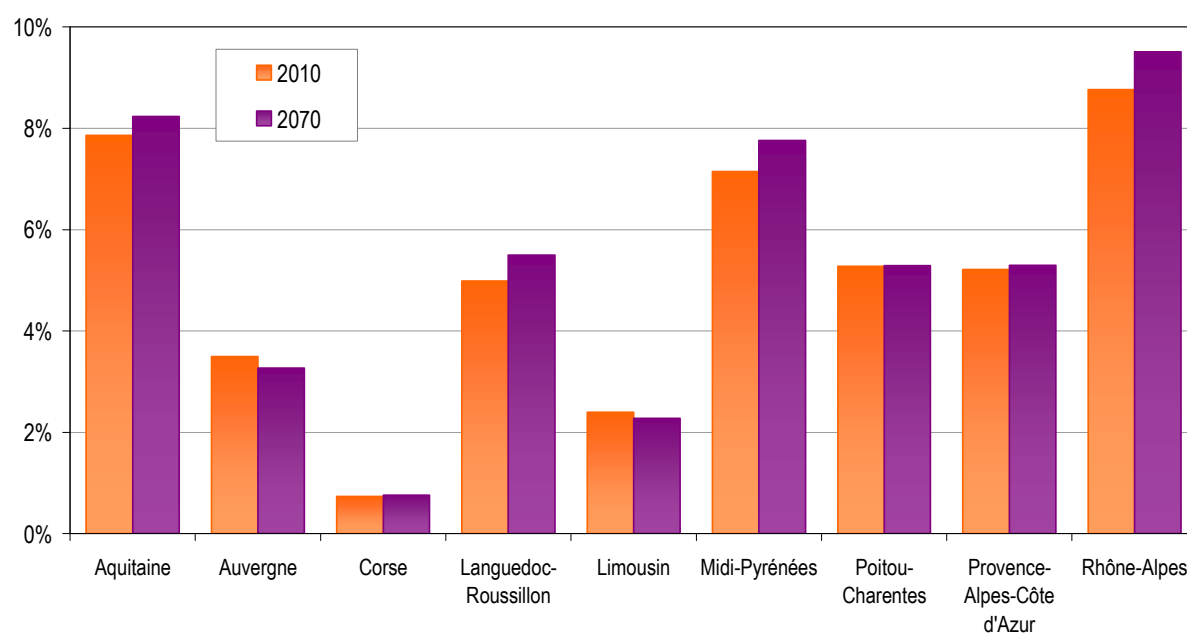
Dans le scénario concentration, la part des régions du Nord dans la surface artificialisée nationale devrait passer de 4,2% en 2010 à 4,1% en 2070 et celle des régions du Sud de 5,1% à 5,3%.

Part de la région dans la surface artificialisée nationale (scénario concentration)



Source : Calculs BIPE

Part de la région dans la surface artificialisée nationale (scénario concentration - suite)



Source : Calculs BIPE

Sur l'ensemble du territoire français, la surface artificialisée va s'accroître de 5 199 458 hectares en 2010 à 6 229 080 hectares en 2070.

Quel que soit le scénario, la répartition de la surface artificialisée sur le territoire varie selon les régions : les Pays-de-la-Loire, l'Aquitaine, les Midi-Pyrénées, le Rhône-Alpes, et dans une moindre mesure la région Centre ont les surfaces artificialisées les plus importantes du fait principalement de leur superficie qui les classe parmi les plus grandes régions de France. A l'inverse, l'Alsace, la Haute-Normandie, la Franche-Comté, le Limousin et la Corse sont les régions qui disposent le moins de surface artificialisée.

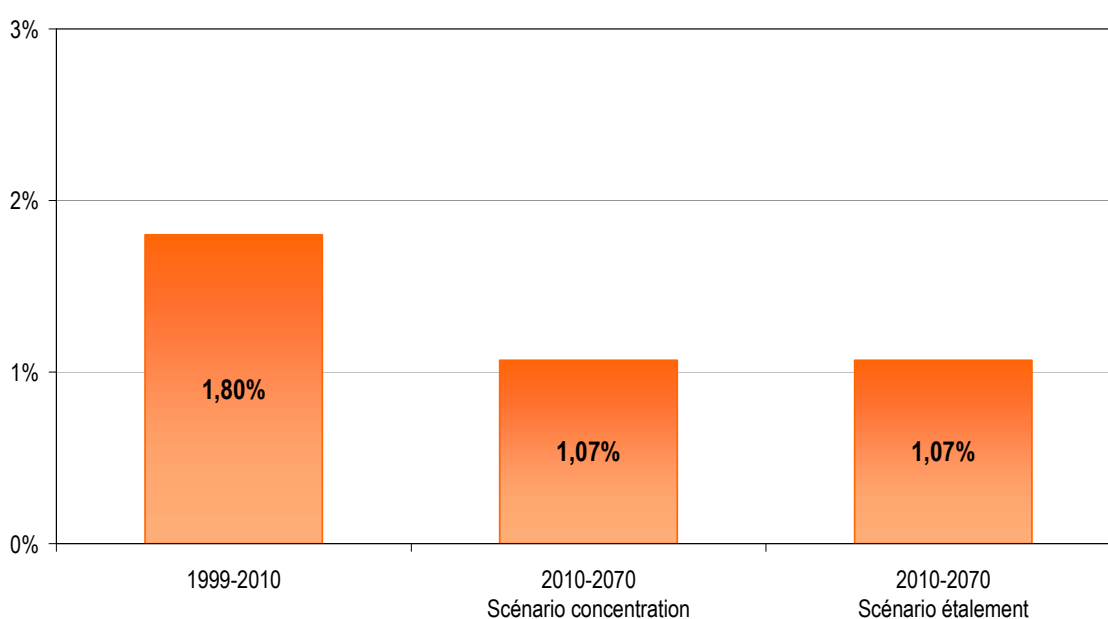
A l'horizon 2070, les régions dont la surface artificialisée est la plus grande voient leur part augmenter, tandis que celles dont la surface artificialisée est la plus faible voient leur part se réduire.

4.3.2.5. CONSEQUENCE SUR L'EVOLUTION DE L'EFFICIENCE ENERGETIQUE DES LOGEMENTS

Les hypothèses (décrites plus loin) en matière d'amélioration de l'efficacité énergétique des logements, par date d'achèvement, et en tenant compte de la rénovation, se traduisent par une amélioration moyenne de l'efficacité énergétique de 2% par décennie, soit un rythme légèrement supérieur à celui observé sur le passé. Compte tenu des hypothèses, il n'y a pas pour l'instant de différence entre les deux scénarios.

Efficiencie énergétique des logements

Gain total sur 10 ans



Source : Calculs BIPE

En 2070, la consommation énergétique totale des logements est 50% du niveau de 2010.

4.4. MODULE AGRICULTURE

Le module agriculture est composé de trois parties :

- une partie offre, qui donne en sortie les productions régionales agricoles par catégorie de produit ;
- une partie demande, qui donne en sortie les consommations nationales de produits agricoles par catégorie de produit ;
- une partie solde, qui confronte l'offre et la demande par catégorie de produit, afin de déterminer le taux d'approvisionnement de la France.

4.4.1. EXERCICES DE PROSPECTIVE UTILISES

Plusieurs hypothèses, décrites dans les paragraphes suivants, ont été reprises du scénario GO de l'exercice de prospective Agrimonde.

Agrimonde a été conduit, de juin 2006 à décembre 2008, par l'INRA et le CIRAD au sein de l'IFRAI (Initiative Française pour la Recherche Agronomique Internationale). Il avait pour objectif de fournir à l'INRA et au CIRAD les moyens d'anticiper et de préparer l'avenir, à la fois en termes de dispositif et d'orientation de la recherche publique comme en termes de positionnement stratégique au niveau international.

Ce travail s'appuie lui-même sur plusieurs études de référence, notamment les résultats du Millennium Ecosystem Assessment (commandité par l'ONU en 2001) et de l'International Agriculture Assessment of Science and Technologies for Development (IAASTD, processus intergouvernemental lancé en 2002). Cet exercice de prospective a donné lieu à deux scénarios : Agrimonde GO (AGO) et Agrimonde 1 (AG1). GO et AG1 retiennent le même horizon temporel (2050), les mêmes hypothèses de croissance démographique dans chaque zone, et les mêmes hypothèses de migrations entre zones. Les deux scénarios se différencient essentiellement par les trajectoires d'évolution des systèmes agricoles et alimentaires régionaux d'aujourd'hui à 2050, trajectoires qui traduisent deux visions contrastées du monde : un scénario positif et tendanciel, et un scénario normatif de rupture. Ces scénarios ont été utilisés pour définir les hypothèses de cadrage du module agriculture des deux scénarios tendanciels d'Explore 2070.

Les deux scénarios tendanciels d'Explore 2070 s'écartent cependant d'Agrimonde GO de manière significative sur certains points. En particulier, les hypothèses de rendement des cultures d'Agrimonde GO ont été revues à la baisse en raison de l'optimisme des prévisions, qui s'élèvent à +0,73% par an de gain de rendement pour les cultures alimentaires.

4.4.2. HYPOTHESES QUALITATIVES DE CONTEXTE

Les trois parties s'insèrent dans un jeu d'hypothèses de contexte. Ces hypothèses ne sont pas prises en compte de manière chiffrée dans le module, mais donnent un contexte qualitatif au scénario. Elles reflètent une valorisation plus forte des produits agricoles, en raison de trois effets :

- l'augmentation de la démographie mondiale ;
- la convergence des modes de consommation alimentaire des pays émergents vers les pays avancés : plus de calories, notamment d'origine animale ;
- l'utilisation croissante d'agrocarburants.

Hypothèses qualitatives de contexte du module agriculture

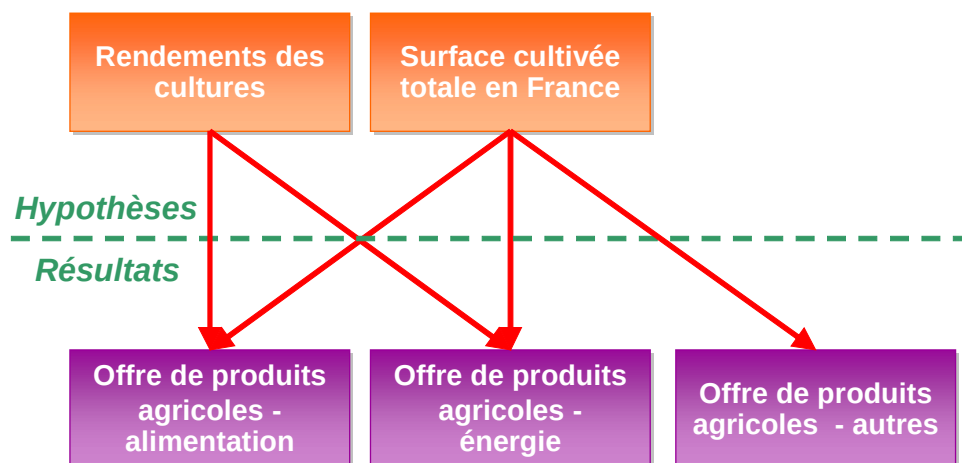
Thème	Hypothèse	Source
Démographie monde	Croissance importante de la démographie mondiale, avec 8,8 milliards d'habitants à l'horizon 2050	Scénario Agrimonde GO
Modes de consommation alimentaire	Convergence progressive de la consommation alimentaire vers les niveaux observés actuellement dans les pays de l'OCDE : hausse des calories par jour et par habitant, et hausse de la part d'origine animale dans ces calories	Scénario Agrimonde GO
Surfaces cultivées	Les effets combinés de la démographie, des évolutions des modes de consommation alimentaire, et de l'utilisation des agrocarburants entraînent une utilisation plus importante des surfaces pour l'agriculture : +20% des surfaces de culture et de plantation dans le monde	Scénario Agrimonde GO
Balance de produits agricoles des pays de l'OCDE	Du fait de la valorisation des produits agricoles, la zone OCDE (périmètre 1990) continue d'être exportatrice nette de produits agricoles à l'horizon 2050	Scénario Agrimonde GO
Evolution de la politique agricole commune de l'union Européenne	A l'horizon 2025, la PAC a fait place à un système d'aides nationales d'ampleur limitée : les évolutions de prix ne justifient plus le système d'aide dans sa forme actuelle	Scénario 1 du groupe de la Bussière

Source : BIPE

4.4.3. PARTIE OFFRE

En guise de rappel, la partie offre du module agricole se base sur des hypothèses concernant l'évolution des surfaces cultivées par régions, ainsi que sur des hypothèses concernant l'évolution des rendements des différentes cultures.

Hypothèses et résultats de la partie offre du module agriculture



Source : BIPE

4.4.3.1. HYPOTHESES

Les hypothèses chiffrées utilisées dans l'exercice de prospective Agrimonde et qui ont trait à l'offre de produit agricoles, et notamment de surfaces, n'ont pas été reprises : l'augmentation forte des surfaces cultivées, au détriment des pâtures notamment n'a pas été reprise.

Les hypothèses d'évolution de l'occupation du territoire découlent de résultats d'autres modules du scénario tendanciel d'Explore 2070 : c'est le cas de l'évolution de l'habitat, qui s'appuie lui-même sur le scénario socio-démographique, ou de l'évolution de la demande de biocarburant, issue du module énergie. D'autres encore sont propres au module agriculture. Pour ces hypothèses, on a distingué dans le tableau ci-dessous les hypothèses selon le scénario tendanciel : concentration de l'habitat, ou étalement de l'habitat.

Principales hypothèses chiffrées de la partie offre du module agriculture

Thème	Hypothèse	Source
Incorporation des biocarburants dans les combustibles pour le transport	L'incorporation des biocarburants dans les combustibles pour les transports augmente jusqu'à 30% à horizon 2070.	Scénario tendanciel Explore 2070
Montée en puissance des biocarburants de seconde génération non issus de l'agriculture	A partir de 2020, des biocarburants non issus de l'agriculture (biomasse, etc.) commencent à être utilisés. A l'horizon 2070, ces biocarburants non issus de l'agriculture montent en puissance, et la part des biocarburants issus de l'agriculture n'est plus que de 34%.	Scénario tendanciel Explore 2070
Dépendance à l'huile pour l'EMHV (biodiesel)	Sur la période de prévision, la France importe 26% de son huile pour l'EMHV (biodiesel).	Scénario tendanciel Explore 2070

Evolution de la demande de carburants	Cf. Module Energie	Scénario tendanciel Explore 2070
Répartition des surfaces dédiées aux agrocarburants sur le territoire	La répartition actuelle des surfaces dédiées aux agrocarburants sur le territoire français ne change pas à l'horizon 2070.	Scénario tendanciel Explore 2070
Evolution des surfaces artificialisées	Cf. module habitat	Scénario tendanciel Explore 2070
Evolution des sols boisés	Les sols boisés diminuent de 2% à horizon 2070.	Scénario tendanciel Explore 2070
Evolution des surfaces de pâtures (surfaces toujours en herbe)	Les surfaces de pâtures (« surfaces toujours en herbe ») restent constantes sur la période de prévision	Scénario tendanciel Explore 2070
Evolution des surfaces de sols cultivés	Les surfaces de sols cultivés sont calculées comme un solde une fois prise en compte l'évolution des surfaces artificialisées et des sols boisés.	Scénario tendanciel Explore 2070
Evolution des cultures hors agrocarburants	Au niveau régional, quel que soit le type de culture (hors agrocarburants), les évolutions des surfaces sont les mêmes. Les évolutions sont cependant différentes par régions	Scénario tendanciel Explore 2070

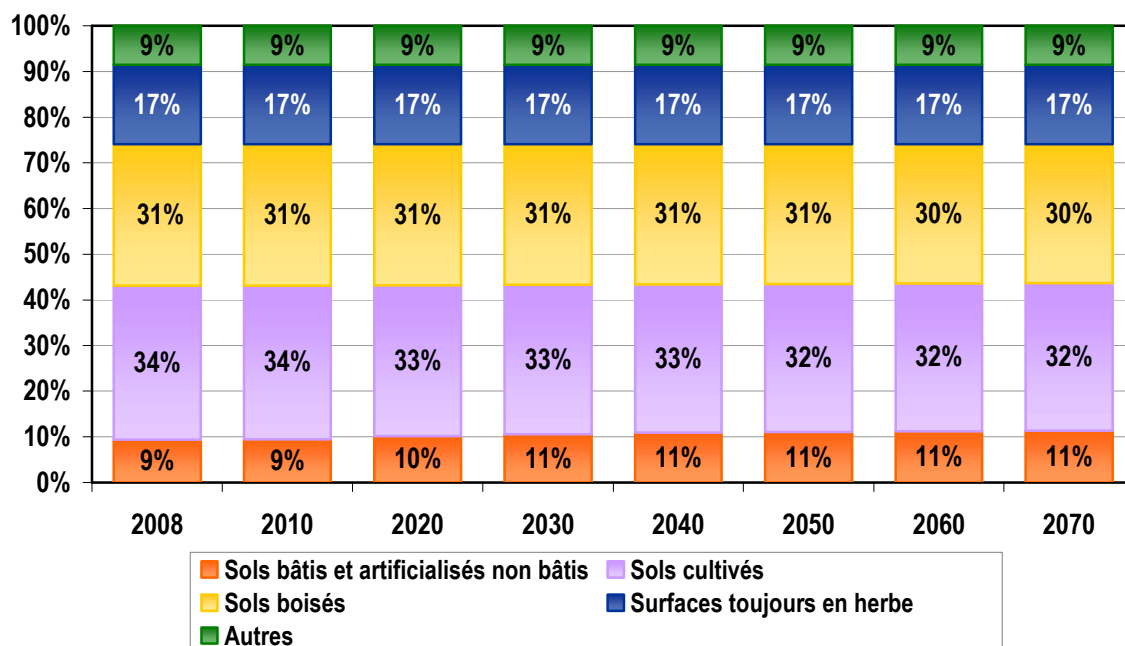
Source : BIPE

4.4.3.2. OCCUPATION DU TERRITOIRE

Ces hypothèses permettent de dresser une typologie des régions selon l'occupation du territoire. A noter que la nomenclature utilisée est la nomenclature d'occupation agrégée de l'enquête Teruti-Lucas.

En raison des hypothèses d'évolution des sols boisés et des surfaces toujours en herbe, les transferts entre types d'occupation du territoire se font principalement entre les sols cultivés et les surfaces artificialisées. Dans le cas du scénario « Concentration de l'habitat », l'augmentation de deux points de la part des surfaces artificialisées dans le territoire entraîne une baisse d'un point des sols boisés et d'un point des sols cultivés.

Types de surfaces en part du territoire de France métropolitaine – scénario « Concentration de l'habitat »



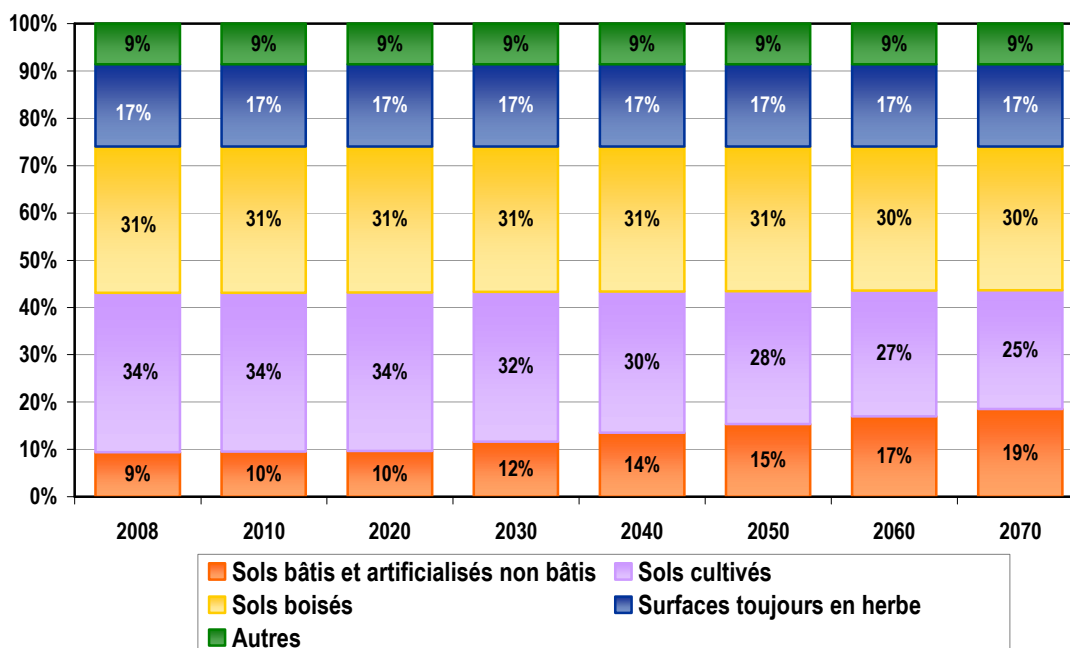
Source : Teruti-Lucas, prévisions BIPE

Dans le cas du scénario « Etalement de l'habitat », les surfaces artificialisées passent de 9,4% du territoire de France métropolitaine à près de 20%. Cette augmentation est presque entièrement compensée par une baisse de la part des sols cultivés, qui passe de 34% à 25% du territoire. L'évolution des sols boisés étant la même entre les deux scénarios, ceux-ci baissent d'un point en part du territoire.

Il est notable que **les hypothèses prises conduisent à une rupture en ce qui concerne l'évolution récente des forêts** : les sols boisés ont ainsi crû de 3% entre 1992 et 2004.

Dans le scénario tendanciel, cette rupture est expliquée par l'essor des agrocarburants sur la première partie de la période de prévision. Les surfaces de colza sont ainsi passées de 650 000 hectares en 1989 à 1 600 000 hectares en 2007. Cet essor des agrocarburants entraîne une valorisation de l'utilisation des terres pour l'agriculture, en particulier au début de la période de prévision.

Types de surfaces en part du territoire de France métropolitaine – scénario « Etalement de l'habitat »



Source : Teruti-Lucas, prévisions BIPE

Evolution des types de surfaces en France métropolitaine sur la période 1992-2004

Type de surface	Evolution 1992-2004
Sols cultivés	-3%
Surfaces toujours en herbe	-7%
Sols bâtis et artificialisés non bâtis	+17%
Sols boisés	+3%

Source : BIPE d'après Teruti

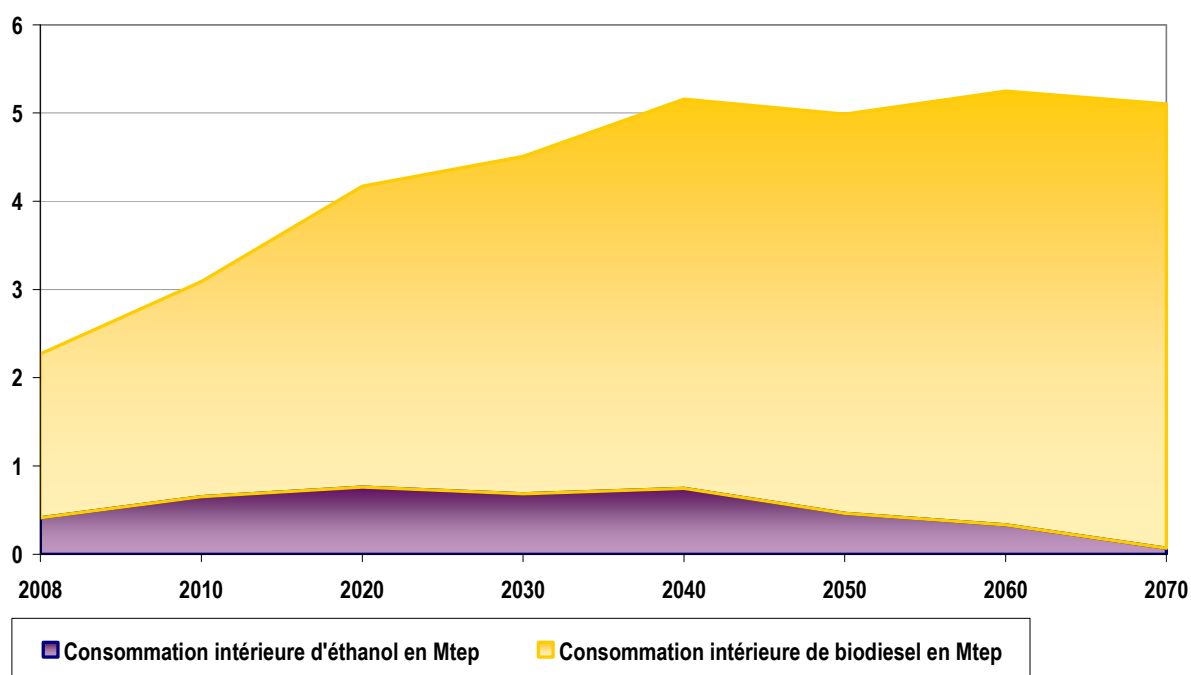
4.4.3.3. SURFACE CULTIVEE

Les surfaces cultivées sont distinguées selon qu'elles sont dédiées ou non aux biocarburants. En ce qui concerne les biocarburants, on a pris l'hypothèse d'une évolution de la production française qui suivrait celle de la demande dans les transports.

Cette demande dans les transports évolue dans le temps, en raison de :

- l'évolution du parc automobile selon la motorisation, véhicules légers et véhicules lourds (cf. module énergie) ;
- de l'incorporation croissante de biocarburants dans les combustibles.

Evolution de la demande de biocarburants en France en Mtep

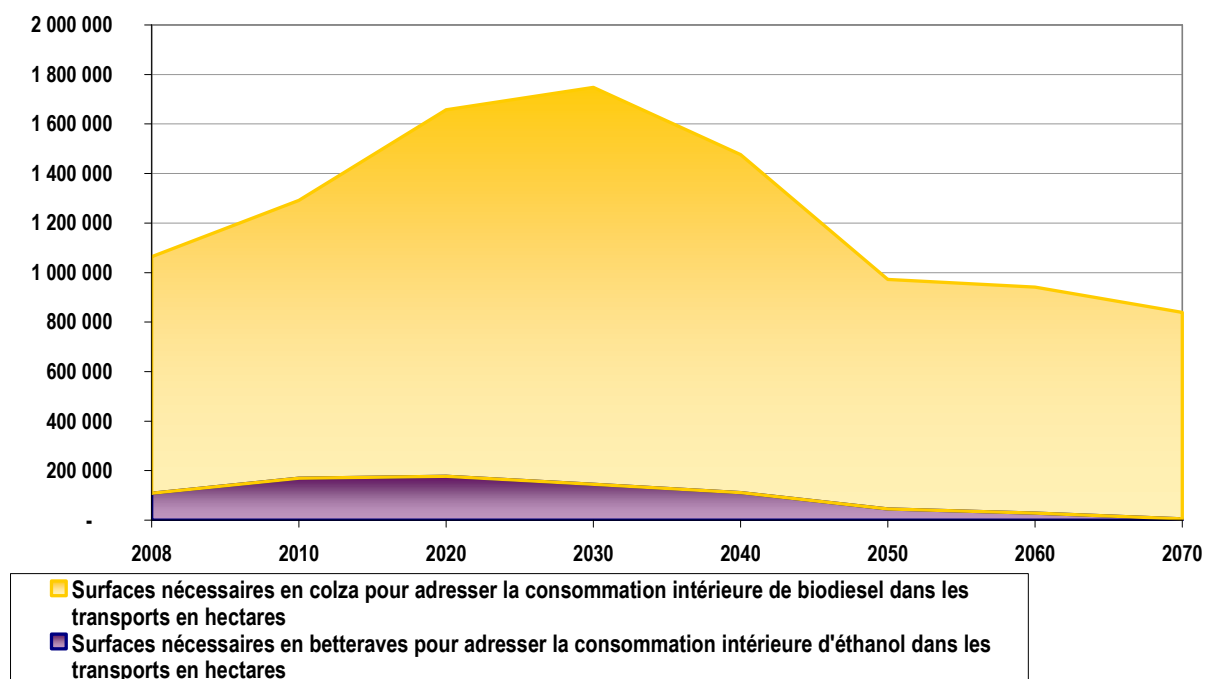


Source : BIPE

Cependant, la hausse de la demande de biocarburants ne se traduira par une hausse de la même ampleur pour les biocarburants issus de l'agriculture. En effet, le passage aux biocarburants de seconde génération non issus de l'agriculture (colza, betterave, blé...) entraînerait une évolution différente pour les biocarburants de première génération. On a pris l'hypothèse que les importations d'huile de colza adressaient un tiers de la demande française en biocarburants de première génération en 2008. Ce ratio se dégraderait dans la décennie 2010 avec l'incorporation croissante des biocarburants dans le mix énergétique des transports, puis repartirait à la hausse avec la stabilisation de la demande à partir de 2040.

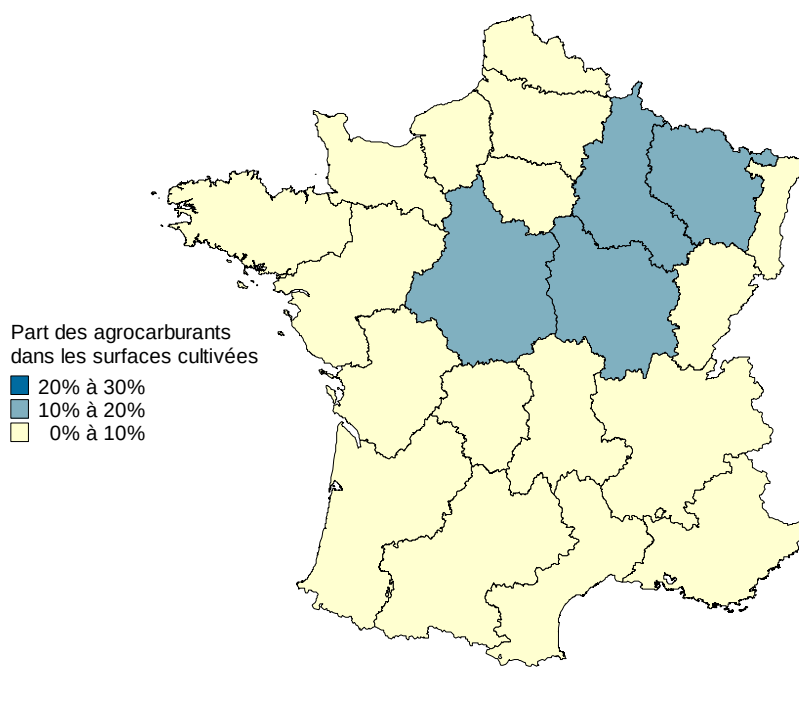
Selon les hypothèses choisies, les surfaces cultivées dédiées aux agrocarburants dès lors augmentent fortement jusqu'à 2030. En raison de l'hypothèse retenue de spécialisation, dans certaines régions, une large partie des surfaces cultivées est consacrée à la culture d'agrocarburants à l'horizon 2070. En Bourgogne et Lorraine, cette part dépasse les 20%. Après 2030, cette part diminue.

Surfaces nécessaires pour la demande de biocarburants issus de l'agriculture dans le transport en hectares



Source : BIPE

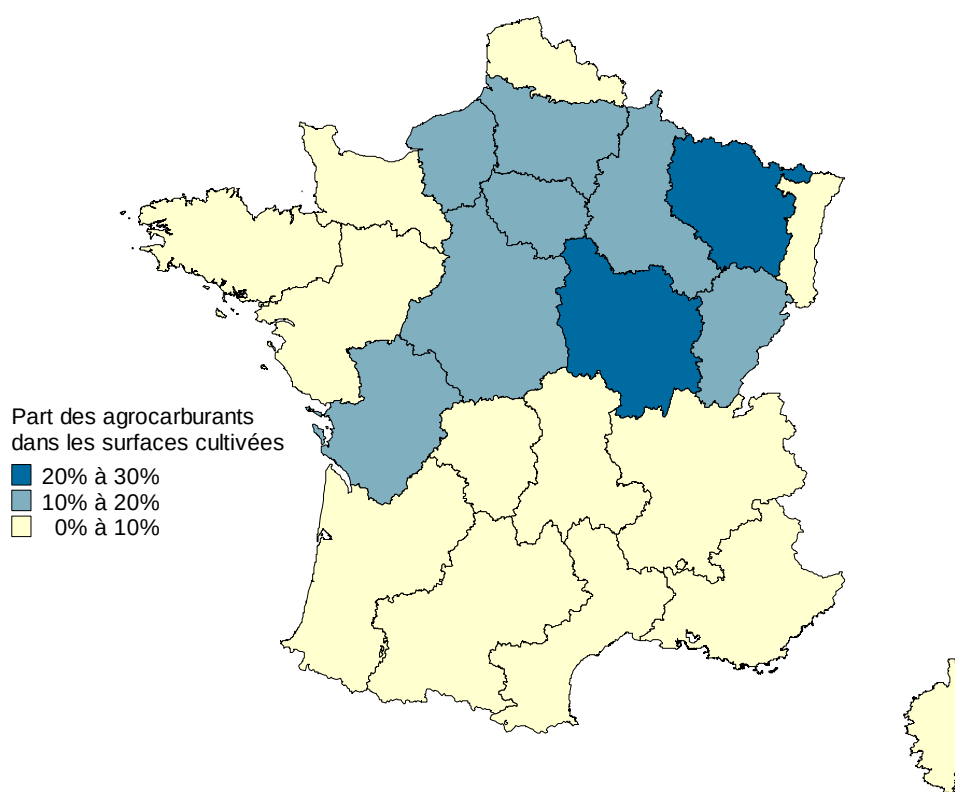
Part des agrocarburants dans les surfaces cultivées par région en 2008 (surfaces cultivées selon scénario concentration de l'habitat)



Source : BIPE d'après Agreste

Selon les hypothèses choisies, les surfaces cultivées dédiées aux agrocarburants augmentent fortement jusqu'à 2030. En raison de l'hypothèse retenue de spécialisation, dans certaines régions, une large partie des surfaces cultivées est consacrée à la culture d'agrocarburants à l'horizon 2070. En Bourgogne et Lorraine, cette part dépasse les 20%. Après 2030, cette part est orientée à la baisse.

Part des agrocarburants dans les surfaces cultivées par région en 2030 (surfaces cultivées selon scénario concentration de l'habitat)



Source : Prévisions BIPE d'après Agreste

4.4.3.4. RENDEMENT

L'hypothèse a été faite d'une hausse continue des rendements des cultures, exprimés en tonnes/hectare, en partant des hypothèses des différents scénarios Agrimonde.

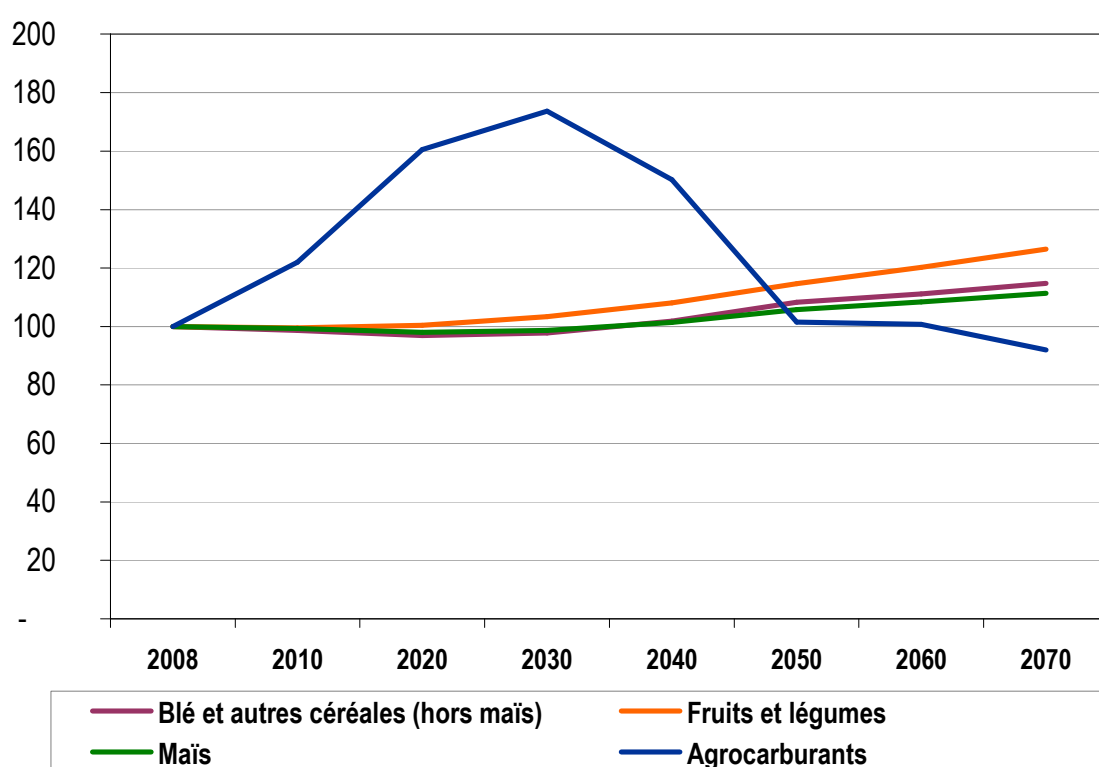
Les évolutions de rendement se fondent sur une hypothèse de ralentissement des évolutions constatées sur la période 1992-2008. On a ainsi pris l'hypothèse d'une croissance de 0,25% par an de gain de rendement pour les cultures céréalières et les cultures dédiées aux agrocarburants, et de 0,5% par an pour les cultures de fruits et légumes. L'hypothèse concernant les céréales est conservatrice, puisque le scénario Agrimonde GO retient une hypothèse de 0,87% (et non de 0,25%) par an de gain de rendement pour les cultures

alimentaires dans la zone OCDE (périmètre 1990).

4.4.3.5. *PRODUCTION*

En raison des hypothèses prises, l'évolution des surfaces artificialisées par région se traduit presque intégralement par des évolutions en sens contraire des surfaces cultivées. En conséquence, les productions agricoles diffèrent selon le scénario choisi : « Concentration de l'habitat » ou « Etalement de l'habitat ».

Evolution des productions agricoles en France métropolitaine (indice 100 en 2008) – Scénario « Concentration de l'habitat »



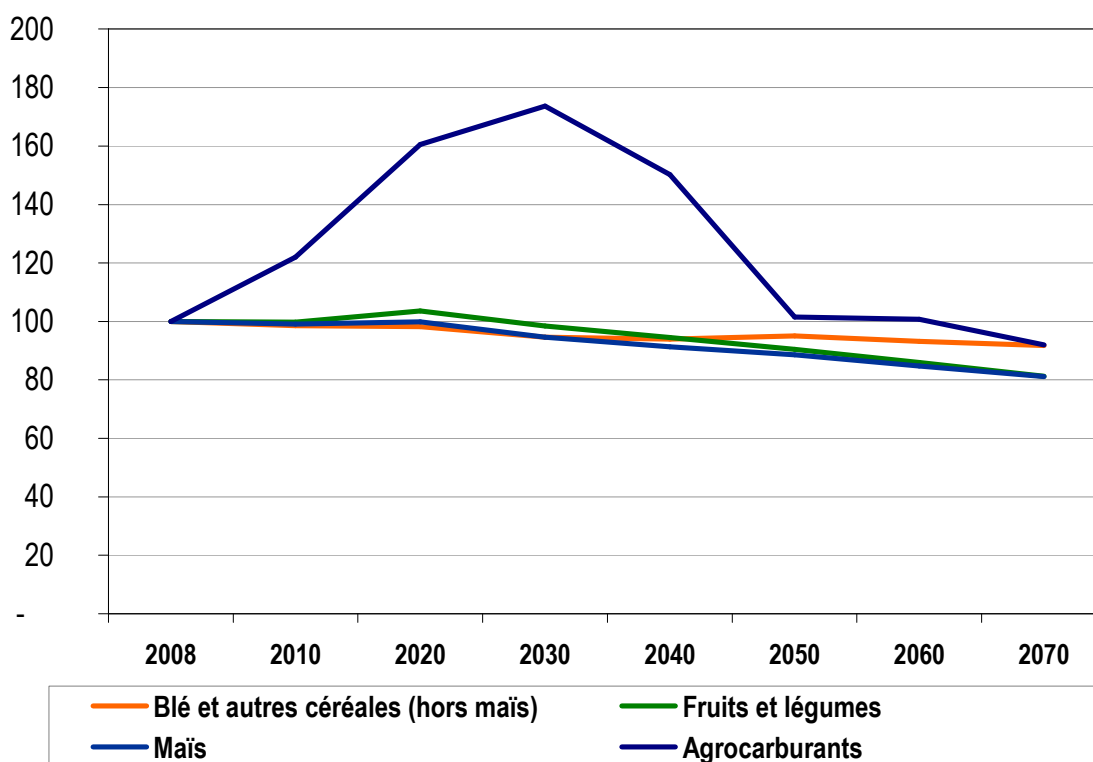
Source : BIPE

Dans le scénario « Concentration de l'habitat », la diminution des surfaces cultivées, et la diminution encore plus forte des surfaces dédiées aux cultures alimentaires, est compensée par l'évolution des gains de rendement. Ainsi, à horizon 2070, la production de blé et autres céréales (hors maïs) croîtrait de 15%. Les fruits et légumes, pour lesquels les hypothèses de gain de rendements sont supérieures, voient leur production augmenter de 26% sur la période de prévision.

La catégorie des agrocarburants connaît une évolution similaire à l'évolution des surfaces qui y sont consacrées : hausse importante sur la première partie de la période de prévision, de

2010 à 2030, jusqu'à +74%, puis baisse de 2030 à 2050 jusqu'aux niveaux actuels. De 2050 à 2070, la production connaît une baisse lente et progressive, et s'élève au final à 92% de la production actuelle.

Evolution des productions agricoles en France métropolitaine (indice 100 en 2008) – Scénario « Etalement de l'habitat »

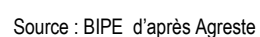


Source : BIPE

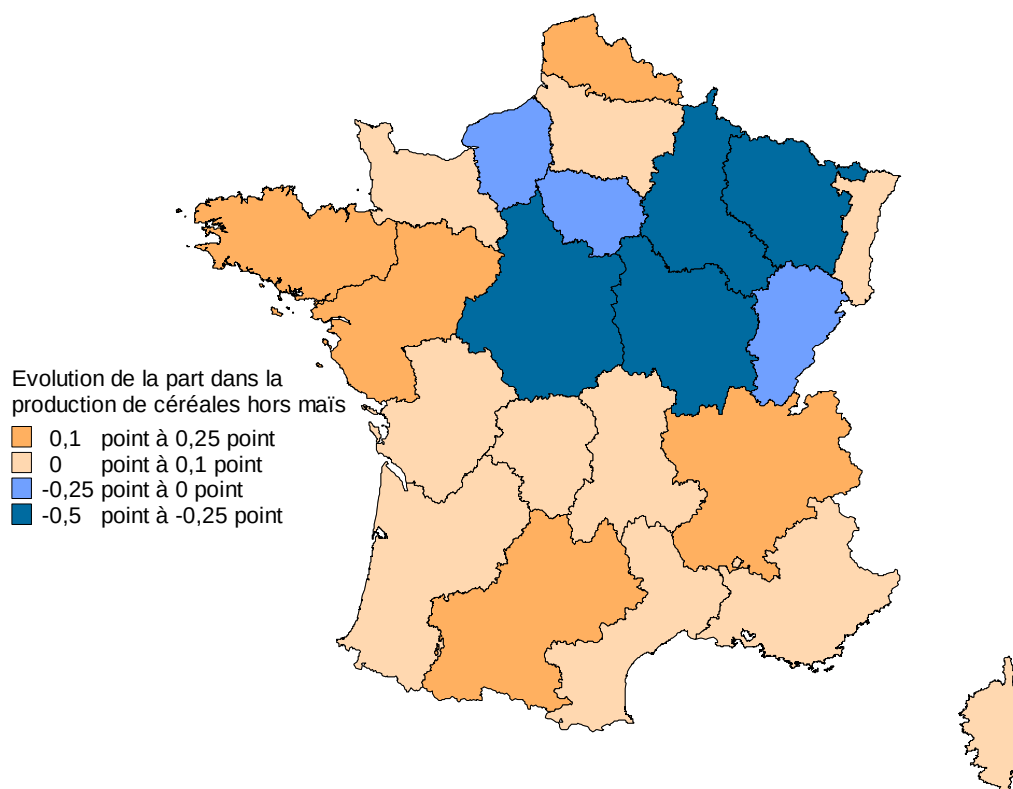
Dans le cas du scénario « Etalement de l'habitat », la hausse des rendements n'est pas suffisante pour compenser la diminution des surfaces cultivées dédiées à l'alimentaire. Ces évolutions se traduisent par une baisse de la production de l'ensemble des cultures alimentaires : la production de céréales hors maïs baisse de 8% sur la période de prévision, celle de fruits et légumes de 19%.

La répartition de cette production sur le territoire varie également. Ainsi, les régions fortement productrices d'agrocarburants voient leur part de la production céréalière non dédiée aux agrocarburants de France métropolitaine se réduire : c'est le cas de la Lorraine, de Champagne-Ardenne, du Centre et de la Bourgogne. A l'inverse, les régions fortement productrices de céréales en 2008 mais n'ayant pas une part importante dans la production d'agrocarburants voient leur part de la production de France métropolitaine augmenter pour la catégorie des céréales : c'est le cas notamment de la Bretagne, des Pays-de-la-Loire et de Midi-Pyrénées.

Répartition de la production de céréales hors maïs de France métropolitaine en 2008



Evolution de la répartition de la production de céréales hors maïs de France métropolitaine entre 2008 et 2030

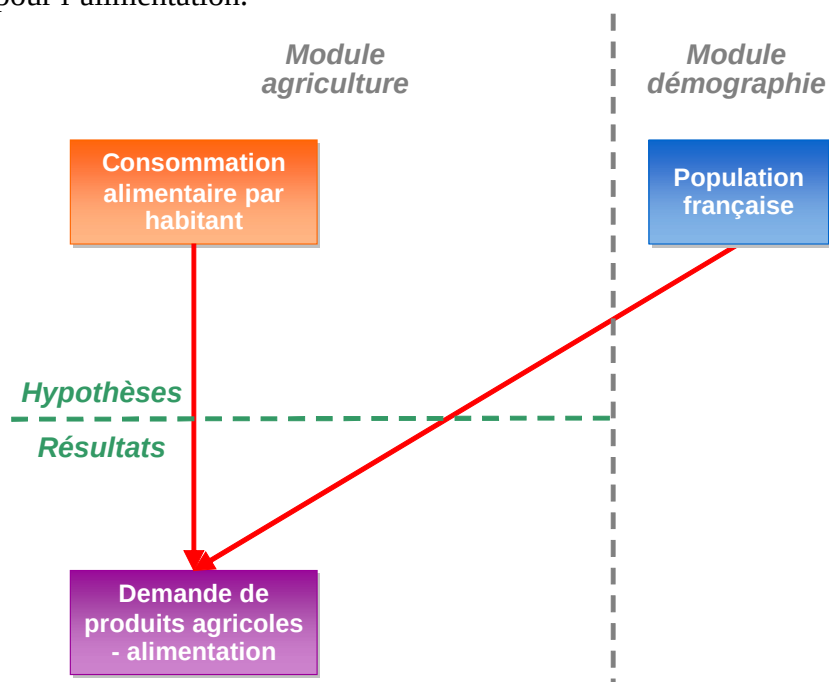


Source : BIPE d'après Agreste

4.4.4. PARTIE DEMANDE

4.4.4.1. METHODOLOGIE

La partie demande du module agriculture part d'hypothèses sur la consommation alimentaire par habitant en France, en quantité et en structure (origine animale, origine végétale), et utilise les résultats du module démographie pour donner en sortie la demande de produits agricoles pour l'alimentation.



Source : BIPE

L'objectif de cette prévision de la demande de produits issus de l'agriculture est de valider la cohérence des prévisions – notamment relatives à l'équilibre entre prévision de productions animales / céréalières, et de chiffrer les conséquences du scénario de production sur le taux d'approvisionnement et la sécurité alimentaire de la France. Ce module permet donc de déterminer l'évolution du solde de la balance commerciale (en unités physiques).

4.4.4.2. HYPOTHESES

La partie demande s'appuie sur différentes hypothèses concernant l'alimentation humaine et l'alimentation animale respectivement. Comme indiqué plus haut, ces hypothèses sur l'alimentation animale conduisent à traiter la question de l'offre de produits agricoles issus de l'élevage dans la partie demande du module agriculture, et non dans la partie offre.

Principales hypothèses de la partie demande du module agriculture

Thème	Hypothèse	Source
Démographie française	Cf. Module démographie	Scénario tendanciel Explore 2070
Consommation alimentaire des Français	En France, comme dans les pays de la zone OCDE (périmètre 1990), les calories « disponibles » par jour et par habitant augmentent de 4% entre 2003 et 2050. Cette tendance se poursuit jusqu'en 2070.	Scénario Agrimonde GO zone OCDE (périmètre 1990)
Part des produits d'origine animale	La part des calories d'origine animale (lait, œufs, viandes et poissons) reste constante entre 2008 et 2070. Le scénario Agrimonde GO prend l'hypothèse d'une augmentation de ce taux, mais cette évolution serait en nette rupture avec les observations des 30 dernières années en France.	Scénario tendanciel Explore 2070
Consommation alimentaire animale	Les consommations alimentaires animales varient au même rythme que la taille des cheptels. Les cheptels évoluent au rythme des productions animales. Les productions animales varient au rythme de la demande. Par conséquent, les taux d'approvisionnement (production française/utilisation intérieure de production issue de l'élevage) restent constants sur la période étudiée.	Scénario tendanciel Explore 2070
Répartition des productions d'origine animale sur le territoire	Quelle que soit la région, les productions agricoles issus de l'élevage évoluent au même rythme.	Scénario tendanciel Explore 2070
Part des pertes, des semences, et de la production destinée à l'industrie dans la production agricole	Par catégorie de produit, la part dans la production agricole des pertes, des semences, et des quantités destinés à l'industrie (hors agrocarburants) est constante sur la période.	Scénario tendanciel Explore 2070

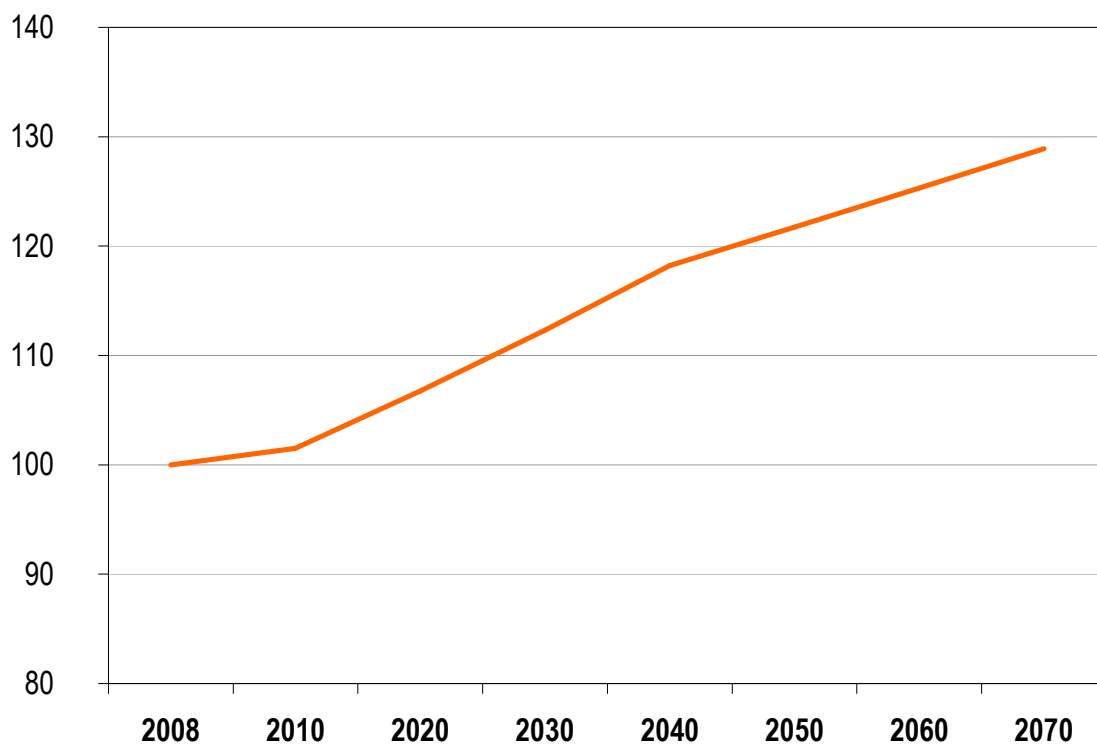
Source : BIPE

4.4.4.3. DEMANDE

Nous choisissons l'hypothèse selon laquelle le rythme d'évolution de la demande intérieure de produits alimentaires est le même quelle que soit la catégorie de produit considéré. On distingue deux parties dans la courbe : une partie de croissance importante entre 2010 et 2040, puis une partie de croissance plus modérée entre 2040 et 2070. Cette évolution s'explique par la démographie, moins dynamique sur la deuxième partie de la période étudiée.

A l'horizon de la prévision, la demande de produits agricoles croîtrait de 29% au total (croissance cumulée entre 2008 et 2070).

Evolution de la demande de produits agricoles (indice 100 en 2008)

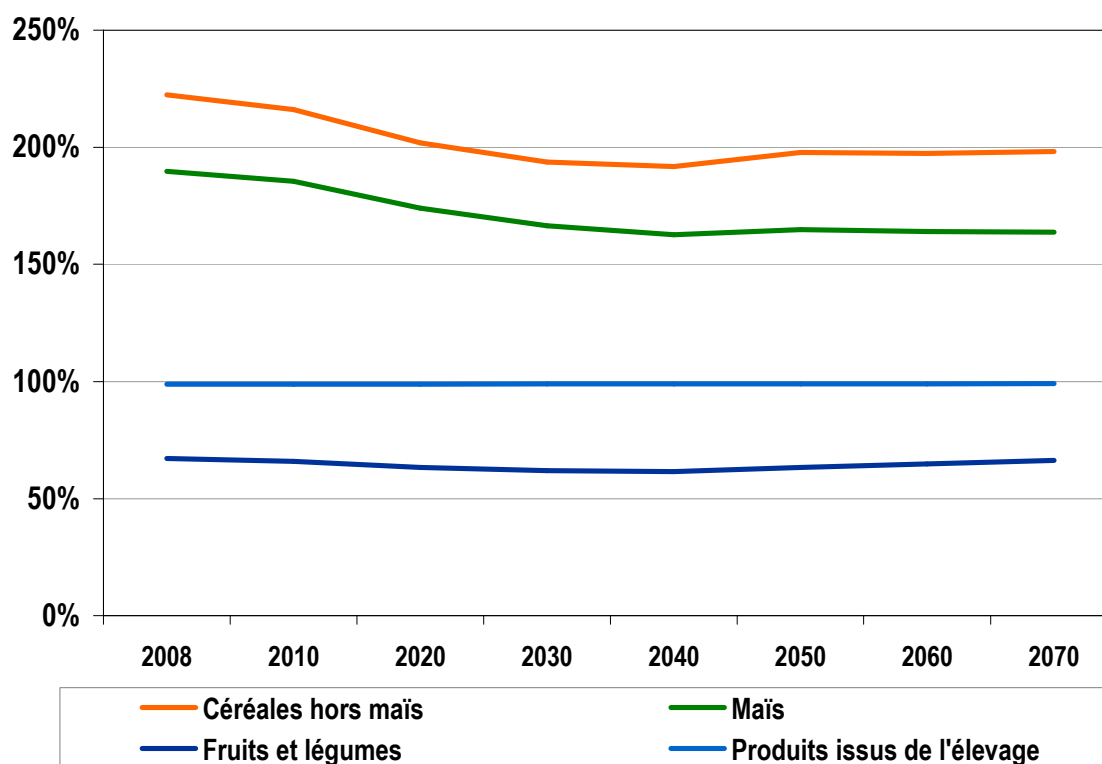


Source : BIPE d'après Agreste, FAOstat

4.4.5. BALANCE COMMERCIALE ET SECURITE ALIMENTAIRE DE LA FRANCE

La confrontation de l'offre et de la demande permet d'établir l'évolution des taux d'approvisionnement (définis comme le ratio production / utilisation intérieure) par catégorie de produit pour les deux scénarios, « Concentration de l'habitat » et « Etalement de l'habitat ».

Taux d'approvisionnement en % - Scénario « Concentration de l'habitat »



Source : BIPE

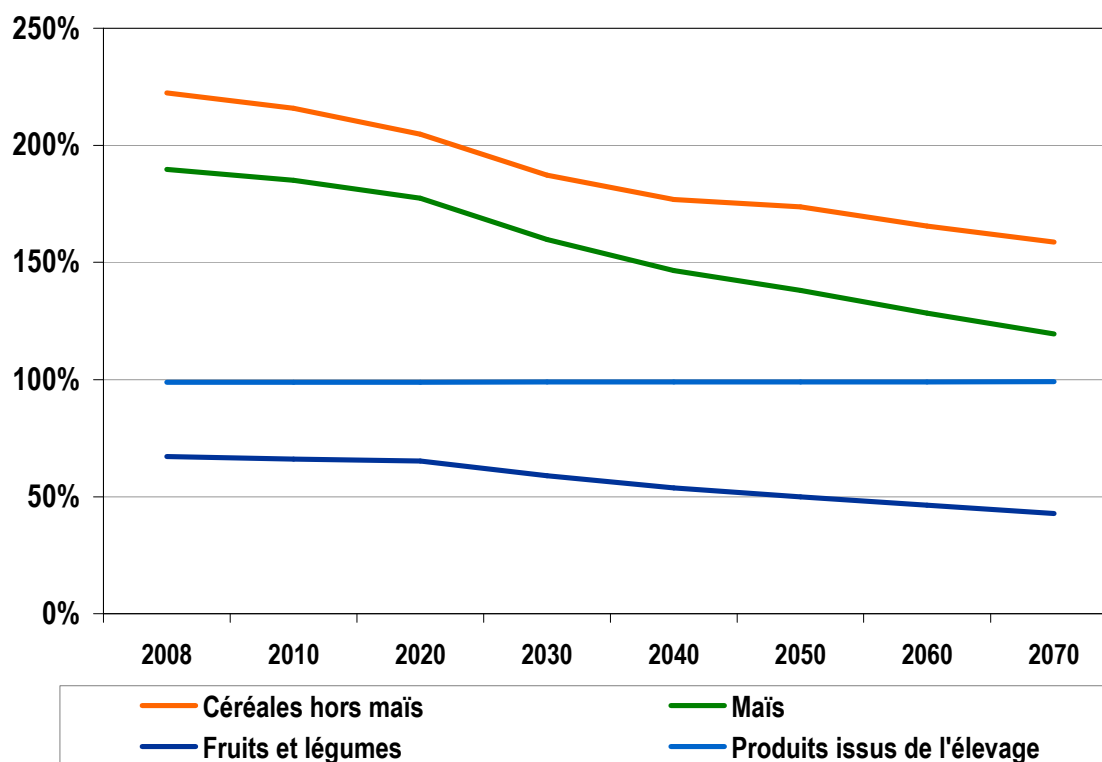
Dans le scénario « Concentration de l'habitat », la diminution des surfaces agricoles, la part croissante des surfaces dédiées aux agrocarburants et la croissance de la demande entraîne une diminution du taux d'approvisionnement pour les céréales (hors maïs). Ce taux, qui s'élève actuellement à 222%, diminuerait ainsi à 192% en 2040. Sur la deuxième partie de la période de prévision, le ralentissement de l'évolution démographique entraîne une croissance moindre de la demande. De plus, les surfaces dédiées aux agrocarburants diminueraient, laissant ainsi plus d'espace pour les cultures alimentaires. Enfin, l'évolution exponentielle, même faible, des rendements a pour conséquence une remontée de la production agricole sur la fin de la période de prévision. Au total, le solde remonterait légèrement après 2040, pour s'établir à 198%.

Le taux d'approvisionnement en maïs, qui part d'un niveau moins élevé en 2008 à 190%, connaît une évolution similaire, et s'établit à 164% en 2070.

Les fruits et légumes ont actuellement un taux d'approvisionnement de 67%, en raison notamment des importations d'oranges. Sur la période de prévision, ce taux connaîtrait également une baisse jusqu'en 2030 puis une hausse, mais ce mouvement est moins marqué que pour les céréales, en raison des hypothèses de gain de rendement plus fort pour cette

catégorie de cultures. En 2070, le taux remonterait à 66%, soit un niveau similaire à la valeur actuelle.

Taux d'approvisionnement en % - Scénario « Etalement de l'habitat »



Source : BIPE

Dans le cas du scénario « Etalement de l'habitat », la baisse plus marquée des sols cultivés, de -25% sur la période de prévision, entraîne une dégradation importante du taux d'approvisionnement en céréales. L'utilisation croissante d'agrocarburants entre 2010 et 2030 se traduit par une baisse rapide du taux d'approvisionnement, mais la baisse de la production d'agrocarburants sur la deuxième partie de la période de prévision ne permet pas de faire remonter ce taux. Au final, le taux s'élèverait à 159% en 2070 pour les céréales hors maïs.

Les fruits et légumes verraient également leur taux d'approvisionnement se dégrader, de 67% en 2008 à 43% en 2070.

4.5. MODULE ECONOMIE – INDUSTRIE

4.5.1. LA CROISSANCE ECONOMIQUE

4.5.1.1. DEFINITION DE LA CROISSANCE POTENTIELLE

La croissance potentielle du PIB dépend notamment de l'évolution de la population active et du rythme de croissance de la productivité.

4.5.1.1.1. La projection de la population active à l'horizon 2015

Durant les quarante dernières années, la durée de la vie active s'est réduite par les deux bouts. Ce raccourcissement est manifeste lorsqu'on compare les âges moyens d'entrée et de sortie de la vie active par génération : entrées en moyenne avant 15 ans dans la vie active, les générations nées avant la grande guerre n'ont quitté leur emploi que vers 63 ans. Les premières générations de l'après-guerre se sont présentées sur le marché du travail vers 17 ans, et espèrent en sortir vers 58 ans qui est aujourd'hui l'âge moyen de la prise de la retraite.

Ce mouvement de longue période est difficilement compatible avec l'allongement des l'espérance de vie et le "rajeunissement" des seniors qui l'accompagne. C'est pourquoi nous n'avons pas prolongé cette tendance à moyen terme.

Compte tenu des évolutions démographiques et des hypothèses faites en termes de mise en œuvre de la réforme des retraites, on prévoit un allongement des carrières dans les années à venir. La rupture de tendance s'ajuste aux besoins d'emploi de l'économie.

A l'heure actuelle, l'économie est loin du plein emploi et le taux de chômage reste élevé. Malgré les dispositifs mis en place, les entreprises tardent à définir des modes d'ajustements des organisations des ressources humaines permettant notamment de mobiliser les seniors, ainsi que les moins de 25 ans. Le processus d'ajustement sera donc lent.

Au final, les projections de la population active retenues ici sont basées sur :

- le scénario démographique décrit ci-avant ;
- un scénario macro-économique de croissance du PIB de 1,7% par an, avec une productivité augmentant de 1,3% par an en moyenne ;
- l'hypothèse d'une mise en œuvre de la réforme des retraites de 2010 sans

difficultés majeures ;

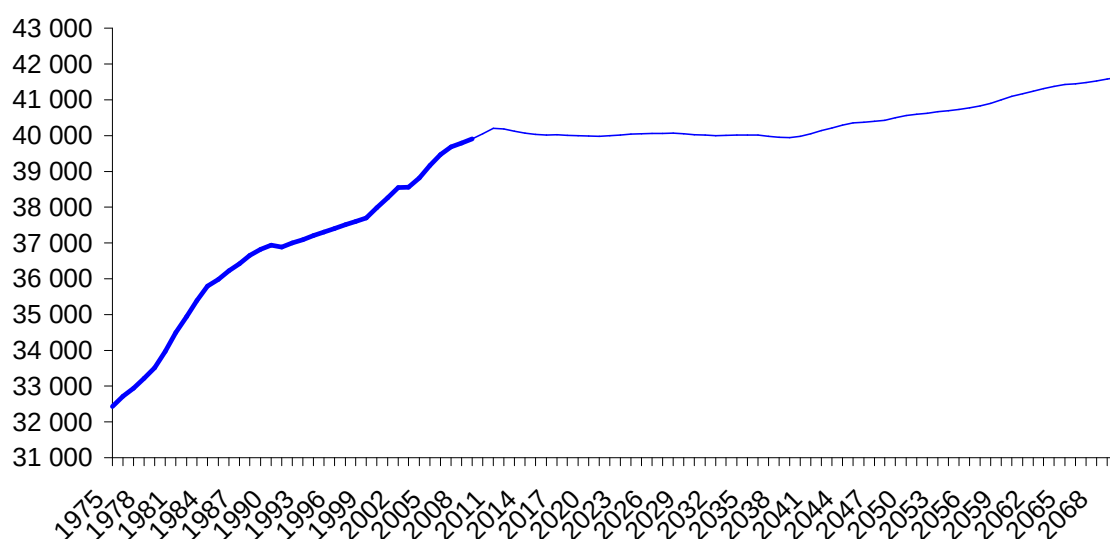
- la prise en compte de l'inflexion des taux d'activité liée au scénario de croissance économique retenu. En effet, lorsque la croissance économique est faible, la population active progresse moins vite par un phénomène de « découragement » qui maintient une partie de la population en âge de travailler hors du marché du travail.

Malgré la croissance faible de la population en âge de travailler, la hausse des taux d'activité permet donc, dans le scénario démographique, de maintenir un taux de croissance potentielle de l'ordre de 1,7% par an sur l'ensemble de la période, dès lors que la productivité par tête augmenterait en effet de 1,3% par an.

En termes de population active, il en résulte :

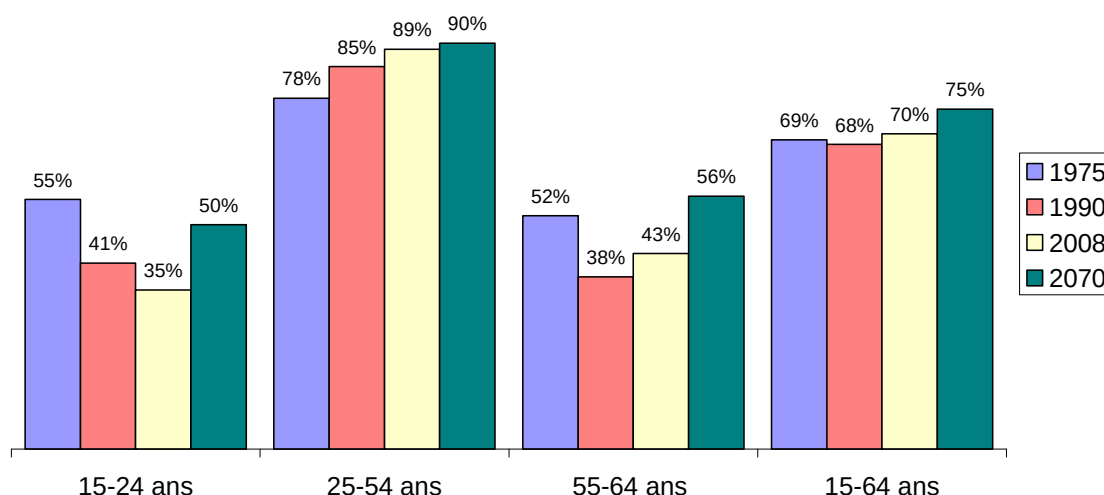
- une population en âge de travailler qui diminue entre 2012 et 2042, puis augmente très lentement par la suite ;
- une forte remontée des taux d'activité aux âges extrêmes entre 2008 et 2070 :
 - o le taux d'activité des moins de 25 ans va augmenter (35% en 2008, 50% en 2070),
 - o Le taux d'activité des 25-54 progressera l'ordre de 0,1 point entre 2008 et 2070,
 - o le taux d'activité des 55-64 ans, va augmenter de près de 13 points entre 2008 et 2070 ;

Évolution de la population en âge de travailler (15-64 ans)



Source : BIPE d'après INSEE, situation démographique 2007 et projection 2010 de la population à l'horizon 2060 pour la France métropolitaine

Evolution des taux d'activité par classe d'âge



Source : INSEE et projections BIPE

Au final, le taux d'activité des 15-64 ans atteindra 75% en 2070 contre 70% en 2008, et la population active progressera de **0,2% par an au cours de la période**.

Compte tenu d'une cible de taux de chômage à l'horizon 2070 de 4,2% qui correspond un niveau de chômage frictionnel¹², la population active occupée augmentera de 0,3% par an. Ce qui nous amènera à un taux d'emploi des 15-64 ans de 72% en 2070 contre 65% en 2008.

Evolution de la population en âge de travailler, de la population active, de l'emploi et du chômage (au sens du BIT)

	En milliers				En %		
	Population 15-64 ans	Population active	Population active occupée	Chômeurs (1)	Taux d'activité (2)	Taux d'emploi (3)	Taux de chômage (4)
1975	32 436	22 247	21 466	781	68.6%	66.2%	3.5%
1990	36 938	24 958	22 964	1 994	67.6%	62.2%	8.0%
2008	39 790	27 825	25 763	2 062	69.9%	64.7%	7.4%
2070	41 673	31 416	30 100	1 316	75.4%	72.2%	4.2%
Taux de croissance annuel moyen							
1975-1990	0.9%	0.8%	0.5%	6.4%			
1990-2008	0.4%	0.6%	0.6%	0.2%			
2008-2070	0.1%	0.2%	0.3%	-0.7%			

(1) Chômeurs = population active – population active occupée
 (2) Taux d'activité = population active / population des 15-64 ans
 (3) Taux d'emploi = population active occupée / population des 15-64 ans
 (4) Taux de chômage = chômeurs / population active

Source : INSEE et projections BIPE

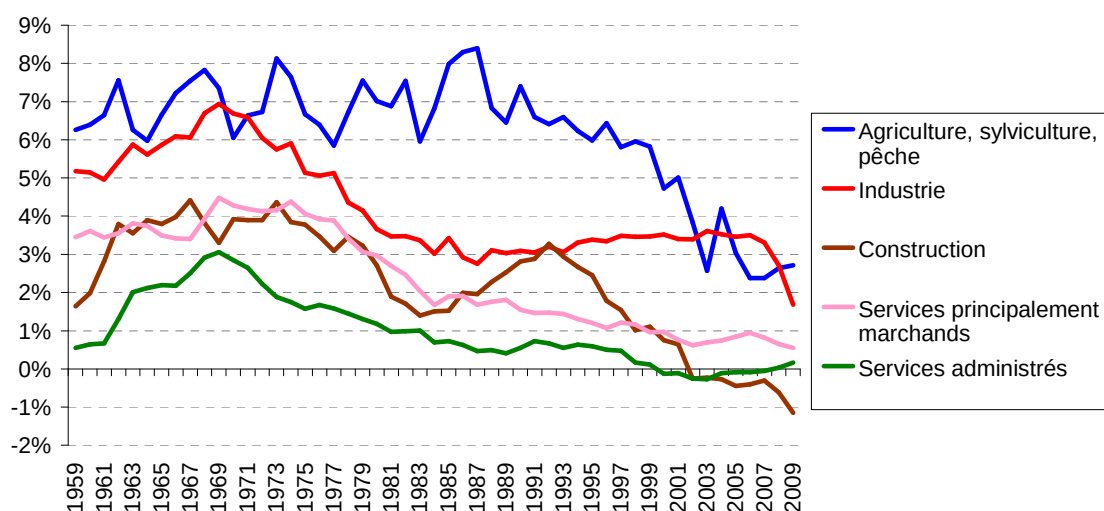
¹² Comme dit précédemment, ce taux de chômage représente le pourcentage de personnes en âge de travailler n'exerçant aucune activité : certains actifs peuvent travailler à temps partiel, voire seulement occasionnellement.

4.5.1.1.2. La projection de la productivité

Au cours des dernières décennies, la productivité c'est fortement ralentie notamment avec le développement des activités de services qui ont un fort contenu en emploi.

La productivité moyenne par emploi dans l'industrie s'accélère, du fait d'une recomposition sectorielle dans des secteurs plus dynamiques. L'augmentation de la productivité des services principalement marchands est liée à une évolution de la structure de ceux-ci : les services principalement marchands comprennent de nombreuses activités, parmi lesquelles la distribution, les services financiers, les services aux entreprises, les services aux particuliers, les transports et la logistique, la gestion immobilière, etc. La restructuration en cours de certains de ces secteurs se traduira par une augmentation de la productivité en légère hausse par rapport aux deux décennies antérieures.

Variations annuelles de la productivité (valeur ajoutée par emploi) par secteur en moyenne mobile sur 10 ans



Source : BIPE d'après données INSEE

A l'horizon 2070, la productivité devrait augmenter de 1,4% par an.

Productivité par emploi

	Taux de croissance annuel moyen en %		
	1949-1975	1975-2008	2008-2070
Ensemble des secteurs	4.6%	1.7%	1.4%
Agriculture	6.5%	5.2%	2.5%
Industrie	5.5%	3.2%	3.5%
Construction	3.0%	0.9%	1.0%
Services principalement marchands	3.9%	1.3%	1.4%
Services administrés	1.6%	0.4%	0.4%

Source : INSEE – Projections BIPE

4.5.1.1.3. La projection de la croissance potentielle

Selon les hypothèses retenues ci-dessus, la croissance annuelle potentielle moyenne du PIB entre 2008 et 2070 est la suivante :

PIB potentiel	=	Population des 15-64 ans	+	Taux d'activité	+	Productivité
1,7	=	0,1	+	0,2	+	1,4

4.5.1.2. LA CARACTERISATION DU SCENARIO ECONOMIQUE RETENU

La croissance mondiale reprend dès 2010, mais à un rythme plus modéré que sur la période historique. Les échanges continuent de se développer, mais, dans des économies déjà très ouvertes, l'élasticité du commerce mondial par rapport à la croissance diminue. L'Asie et certaines zones émergentes tireront la croissance mondiale, mais leurs rythmes de croissance décéléreront peu à peu, avec la hausse de leur niveau de développement. Le phénomène de rattrapage (en cours) des nouveaux membres de l'UE devrait se poursuivre. La poursuite de la croissance mondiale se traduira aussi par des hausses des prix des matières de base, dont le pétrole.

La croissance en France devrait se consolider, après les nécessaires réajustements entre 2010 et 2020. La croissance économique repart mollement à court terme. A plus long terme, la croissance est limitée par la faiblesse de la croissance potentielle due à l'effet de la démographie et à de faibles investissements productifs.

Entre 2015 et 2020, la croissance effective est également pénalisée par une politique

budgétaire plus rigoureuse destinée à redresser les finances publiques: la hausse des prélèvements visant à stabiliser le poids de la dette limite la croissance du pouvoir d'achat et le dynamisme de la demande intérieure - la hausse de la dette se traduit par un poids croissant du service de la dette, qui doit être compensé par une politique fiscale plus restrictive.

Rappelons aussi l'effet qualité, qui explique l'essentiel de la croissance sur le long terme : après la période dite « d'équipement » des ménages, correspondant à la hausse des taux d'équipement en électro-ménagers, véhicules automobiles, équipements de communication etc., l'on est aujourd'hui entré dans une phase dans laquelle le progrès est mesuré plutôt par l'augmentation de la valeur du service rendu par les biens et services, plutôt que par les volumes. De fait, rappelons que la croissance exponentielle du secteur de l'électronique au cours des dernières années a été tirée non pas tant par l'augmentation du nombre d'ordinateurs portables vendus, que par l'hypothèse d'une diminution continue du prix de ces produits, et d'une hausse de leur qualité – donc de leur « valeur » à prix constants.

Entre 2010 et 2015, la productivité effective (non pas potentielle) se redresse progressivement : il s'agit d'un effet de rattrapage lié à la résorption des temps partiels dans l'industrie. Il y a donc peu de créations d'emplois, et le taux de chômage se maintient à un niveau élevé. La productivité décélère ensuite à partir de 2015, compte tenu du poids élevé des services dans le PIB, et d'une reprise de la croissance des investissements plus focalisée sur les économies de ressources que sur l'extension du potentiel de production. La reprise des investissements est notamment liée à des efforts de rénovation ; à une hausse des investissements destinés à améliorer l'efficacité en ressources des processus de production, et d'investissements dans le domaine de la sécurité, conformément aux efforts de transition vers un développement durable ; à de nouveaux investissements en infrastructures (transports en commun notamment) ; et, à des efforts de diffusion des nouvelles technologies dans les services

La plupart de ces investissements permettent d'économiser des ressources de base (énergie, matières premières) ou d'améliorer la productivité par tête, plutôt qu'ils n'augmentent le potentiel de production.

Les dépenses des administrations publiques (fonctionnement et investissement) sont durablement freinées par la nécessaire réduction des déficits publics, dans un contexte difficile puisque marqué par une remontée des taux d'intérêt (prime de risque plus élevée) - pour mémoire, les dépenses publiques hors intérêts et FBCF ont augmenté de 2% par an en termes réels entre 1993 et 2008.

La consommation privée et les dépenses des administrations seront durablement freinées par la faible croissance du pouvoir d'achat.

Entre 2020 et 2070, la consommation des ménages s'accélère toutefois, revenant aux niveaux connus auparavant du fait d'une stabilisation de la pression fiscale et de l'amélioration de la situation sur le marché du travail (baisse du taux de chômage qui entraîne des revalorisations salariales plus importantes qu'en première partie de période) Sur cette période, la croissance des investissements se maintient, et l'on renoue même avec des investissements productifs après avoir focalisé les investissements entre 2010 et 2020 sur des investissements en économie de ressources.

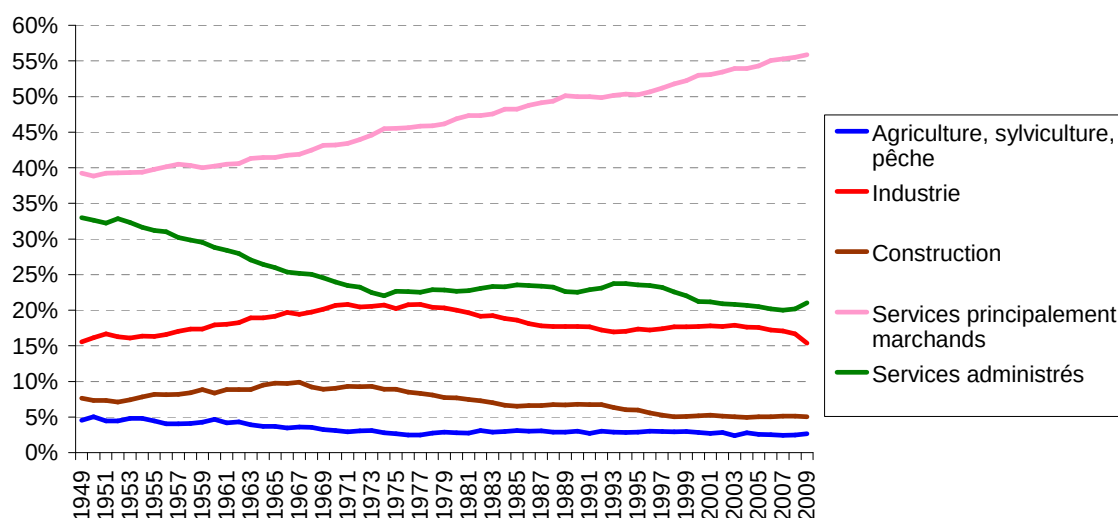
En parallèle, la montée des services freine la croissance des exportations et des importations, dont les taux de croissance n'atteignent pas les niveaux observés sur le passé.

Au final, le PIB croît de 1,7% en moyenne annuelle sur la période 2008-2070, proche du rythme de croissance potentielle, mais avec une légère accélération au-delà de 2020 suite au relâchement de la pression sur les comptes publics (l'essentiel de la correction ayant eu lieu dans les 5-8 premières années).

4.5.1.3. LES EVOLUTIONS SECTORIELLES

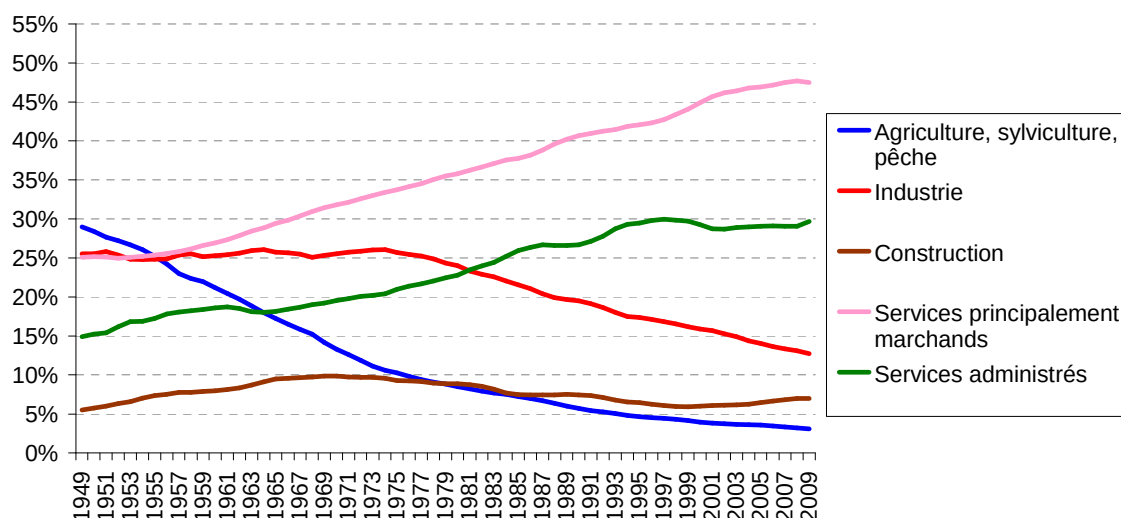
Au cours des dernières décennies nous avons assisté à une forte progression de la part de la valeur ajoutée des services principalement marchands.

Evolution de la structure de la valeur ajoutée en volume au cours des 60 dernières années



Source : BIPE d'après données INSEE

Evolution de la structure de l'emploi au cours des 60 dernières années



Source : BIPE d'après données INSEE

Les déformations de structures sectorielles de la valeur ajoutée illustrées plus haut se sont donc traduites par des évolutions de l'emploi par secteur. Celles-ci devraient se poursuivre au cours des décennies à venir, avec :

- Un nouveau ralentissement de l'agriculture et de l'industrie ;
- Une progression des services principalement marchands s'inscrivant également en léger retrait par rapport aux périodes antérieures ;
- Une division par trois du taux de croissance des services administrés, après la période de forte expansion jusqu'en 2008 : ce secteur subit en effet le contrecoup des mesures destinées à rééquilibrer les finances publiques, dont les déficits ont explosé au cours des décennies antérieures ; cette réorganisation des services publics passerait notamment par la délégation au secteur privé de la gestion d'un nombre croissant de services, et par le développement de partenariats publics privés qui feraient rentrer la gestion du service (statistiquement parlant) dans la sphère du « marchand » ;
- Une reprise de la construction, dans un contexte de pénurie de logements et de poursuite de la hausse du nombre de ménages, et de la mobilité des ménages.

Le taux de croissance de la production et de la valeur ajoutée ralenti entre 2008 et 2070, notamment du fait des services principalement marchand et administrés. Néanmoins, l'économie française sera toujours tirée par les services principalement marchands à l'horizon 2070.

Valeur ajoutée

	Taux de croissance annuel moyen en %		
	1949-1975	1975-2008	2008-2070
Ensemble des secteurs	5.1%	2.3%	1.7%
Agriculture	2.7%	2.1%	0.8%
Industrie	6.0%	1.7%	1.6%
Construction	5.5%	0.6%	1.1%
Services principalement marchands	5.5%	2.9%	2.1%
Services administrés	3.4%	1.9%	0.6%

Source : INSEE – Projections BIPE

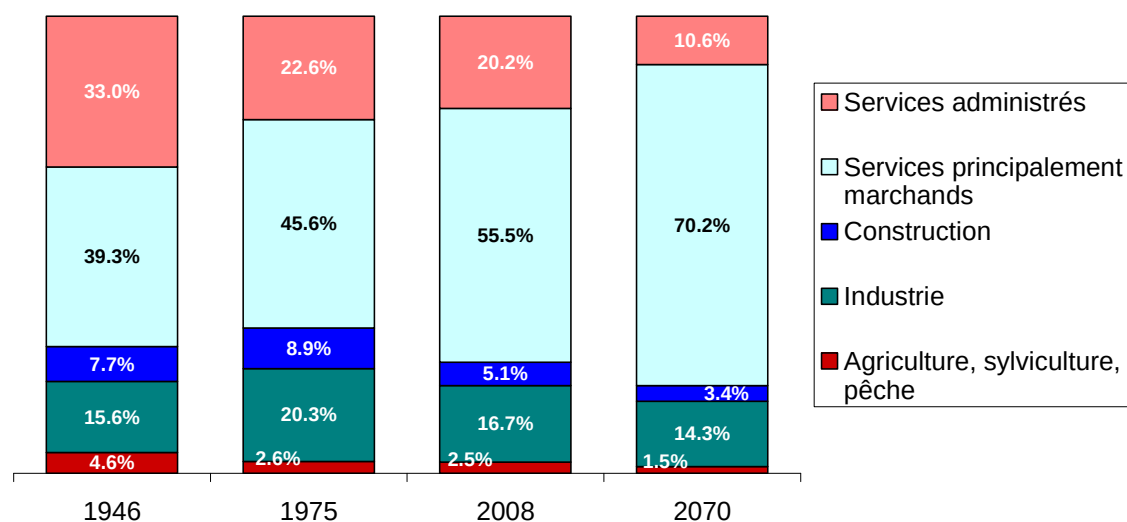
Taux de croissance annuel moyen de la production par grand secteur (volume)

	Taux de croissance annuel moyen en %		
	1949-1975	1975-2008	2008-2070
Ensemble des secteurs	5.2%	2.5%	2.1%
Agriculture	3.2%	1.5%	0.2%
Industrie	5.3%	2.1%	2.0%
Construction	5.9%	1.0%	1.6%
Services principalement marchands	5.6%	3.2%	2.4%
Services administrés	4.5%	2.2%	0.9%

Source : INSEE – Projections BIPE

En termes de déformation de la structure la valeur ajoutée notons le fort recul des services administrés à l'horizon 2070

Part de la valeur ajoutée par grand secteur (en volume)



Source : INSEE – Projections BIPE

A l'horizon 2070, l'emploi dans l'agriculture et l'industrie continue de reculer, tandis que les créations d'emplois dans les services ralentissent.

Sur la période 2008-2070, les créations annuelles d'emplois dans les services administrés sont

divisées par cinq par rapport à la période 1975-2008.

Taux de croissance annuel moyen de l'emploi par grand secteur

	Taux de croissance annuel moyen en %		
	1949-1975	1975-2008	2008-2070
Ensemble des secteurs	0.4%	0.6%	0.3%
Agriculture	-3.5%	-3.0%	-1.7%
Industrie	0.4%	-1.5%	-1.8%
Construction	2.5%	-0.3%	0.1%
Services principalement marchands	1.6%	1.6%	0.7%
Services administrés	1.8%	1.5%	0.2%

Source : INSEE – Projections BIPE

Créations d'emploi par grand secteur

	En milliers		
	1949-1975	1975-2008	2008-2070
Ensemble des secteurs	84	130	73
Agriculture	-131	-42	-9
Industrie	23	-65	-38
Construction	36	-6	2
Services principalement marchands	93	153	101
Services administrés	63	90	17

Source : INSEE – Projections BIPE

4.6. MODULE ENERGIE

4.6.1. CONTEXTE INTERNATIONAL ET CADRAGE DES HYPOTHESES

Le XX^{ème} siècle a été marqué par :

- une transition énergétique relative à la substitution progressive du charbon par le pétrole dans le mix énergétique mondial des pays industrialisés ;
- l'industrialisation de la production d'électricité ;
- des usages plus intensifs du gaz naturel (notamment dans les procédés industriels et le secteur tertiaire-résidentiel).

Tout comme au siècle passé, le XXI^{ème} siècle verra l'avènement d'une transition énergétique majeure dans l'histoire de l'humanité. Cette dernière se différenciera de la précédente en raison de plusieurs facteurs :

- Tout d'abord cette transition est inéluctable et intimement liée à l'héritage du passé récent (1960-2010). Les préoccupations de la seconde moitié du XX^{ème} siècle étaient en effet centrées sur la recherche d'une énergie abondante et peu chère qui ont conduit à un usage intensif du pétrole dans les économies industrialisées. Les pressions anthropiques sur ce combustible fossile ont largement entamé les ressources exploitables et il est désormais avéré que le pétrole deviendra une ressource rare au cours des prochaines décennies.
- Le contexte tendanciel de mondialisation des économies, qui va de pair avec un usage plus intensif d'énergie, voit la demande énergétique mondiale croître significativement, notamment en raison de l'industrialisation de grands pays émergents tels que la Chine et l'Inde (pour ne citer que les plus significatifs en termes de population).
- La croissance de la population mondiale accentue mécaniquement la demande planétaire d'énergie dont la part par tête augmente également du fait de la précédente raison évoquée, mais également parce que l'accès au progrès conditionne l'évolution des modes de vies (consommation, habitat, déplacements etc.). Ainsi, même si les pays industrialisés anticipent à long terme une baisse de la consommation énergétique par tête (en lien avec la recherche d'une meilleure efficacité énergétique au sein de leurs économies nationales), il n'en sera rien pour les pays nouvellement industrialisés dont l'accès au progrès entraînera une hausse inexorable de la consommation

énergétique part tête. Les populations des pays émergents aspirent à rattraper les niveaux de confort et des modes de vie proches de ceux des pays occidentaux.

- La prise de conscience du changement climatique a placé les préoccupations environnementales au premier rang d'une stratégie politique désormais axée sur le développement durable en vue de limiter les impacts de l'activité humaine sur les différents écosystèmes. Dans les pays industrialisés, cela se traduit par la recherche d'une croissance économique qui minimise les émissions de gaz à effet de serre en favorisant (à des degrés divers) la pénétration dans le mix énergétique des énergies propres et renouvelables (éolien, solaire thermique, solaire photovoltaïque, géothermie, hydroélectricité etc.).

Ces éléments contextuels sont unanimement repris par la littérature inhérente à la prospective énergétique, comme déterminants fondamentaux de l'évolution de ce secteur.

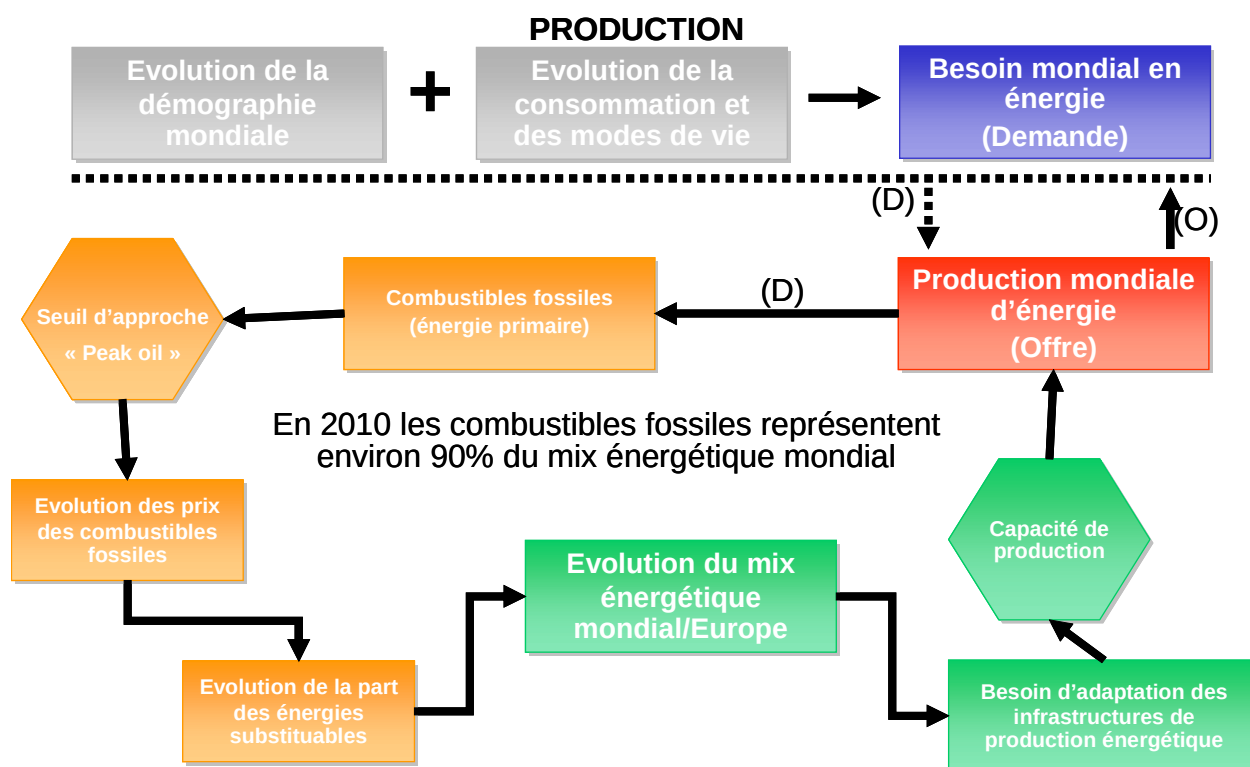
L'exercice réalisé par le BIPE ne déroge pas à la règle. Ce chapitre se décompose en deux parties.

La première partie présente, sur la base des tendances lourdes énoncées ci-avant, les hypothèses de cadrage international retenues par le BIPE dans le scénario tendanciel d'évolution de la production et de la consommation d'énergie en France. Elle se base sur l'analyse bibliographique présentée dans le rapport éponyme du projet Explore 2070.

Le scénario tendanciel est présenté dans la seconde partie du présent chapitre suivant l'approche sectorielle traditionnellement utilisée pour ce type de modélisation.

4.6.1.1. LE MODULE DE PREVISION

Le schéma ci-après rappelle les interactions entre les déterminants fondamentaux de l'offre et de la demande mondiale d'énergie. Les hypothèses du BIPE au niveau mondial s'appuient sur les scénarios de long terme de l'IEA, prolongés à horizon 2070.



4.6.1.2. HYPOTHESES SUR LE « PEAK OIL » ET LE PRIX DU BARIL DE BRUT.

Avant de décrire les évolutions en France, il s'agit de poser les hypothèses d'évolution du contexte mondial dans ce domaine, à horizon 2070.

Compte tenu de l'indexation plus ou moins directe des prix des matières premières sur le prix du pétrole depuis le XX^{ème} siècle, le préalable à toute modélisation d'un système de marché de l'énergie consiste à poser l'hypothèse d'évolution du prix du pétrole pour la période considérée. Cela suppose, en amont, de poser également des hypothèses sur la disponibilité de ressources pétrolières au niveau mondial.

Les modèles les plus récents de prospective énergétique font tous un focus particulier sur le « peak oil¹³ » car il désormais certain que ce dernier sera atteint dans les premières décades du XXI^{ème} siècle. Deux courants de pensée s'opposent.

Le premier, défendu par des représentants gouvernementaux et des multinationales du secteur de l'énergie, laisse entendre que l'état actuel des réserves pétrolières exploitables permet

¹³ Désigne le pic pétrolier mondial, le moment où la production mondiale de pétrole plafonne avant de commencer à décliner du fait de l'épuisement des réserves de pétrole exploitables.

d'assurer un approvisionnement mondial à l'horizon 2030-2035 sur la base d'une hypothèse de croissance de la demande mondiale de l'ordre de 2% par an. Suivant cette thèse, le « peak oil » pourrait même être repoussé au-delà de 2035 si l'innovation technologique ouvrait de nouvelles perspectives pour exploiter les ressources dites « ultimes » (fonds océaniques, pôles terrestres).

Le second courant de pensée, promu par l'ASPO¹⁴ et plus récemment repris par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) dans son scénario énergétique moyen terme¹⁵ avance l'hypothèse que le « peak oil » a été atteint entre 2008 et 2010. L'absence de mesures internationales visant à gérer plus progressivement cette érosion de la ressource fossile aura indéniablement des conséquences extrêmes sur l'évolution du prix du baril à un horizon de moyen terme. En effet, même si le « peak oil » est atteint, la production pétrolière continuera à répondre à la demande mondiale jusqu'à environ 2030.

A partir de cet horizon, il sera impossible de continuer à produire sur des niveaux suffisants pour satisfaire la demande et cette situation empirera d'année en année.

De fait, les producteurs de pétrole n'auront d'autre choix que de réduire les quantités produites par palier, la raréfaction de la ressource entraînant une envolée des prix au baril. Les prix augmenteront de manière encore plus significative dès lors que la technologie permettra d'accéder aux ressources ultimes car, indépendamment des coûts d'exploitation, il s'agira là de manière certaine des toutes dernières ressources disponibles.

En regard des éléments bibliographiques publiés en octobre 2010 par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), il sera retenu pour le scénario énergie que le « peak oil » a été atteint et que les années à venir ne verront plus progresser les volumes extraits.

L'état actuel de la technologie ainsi que ses améliorations pour les 20 prochaines années ne permettront pas de trouver une autre énergie 100% substituable. Notamment dans le secteur des transports (le plus intensif en consommation de produits pétroliers) où, malgré la démocratisation des moteurs hybrides, la lente percée du moteur tout électrique et l'usage d'agroc carburants, il y aura toujours besoin de dérivés du pétrole pour alimenter le parc de véhicules.

Ainsi, en France, malgré la poursuite de la baisse tendancielle de consommation en produits

¹⁴ ASPO : Association for the study of peak oil

¹⁵ World Energy Outlook 2010 -

pétroliers, l'économie nationale aura toujours recourt à l'importation de pétrole et de ses produits dérivés.

Sur la période 2010-2030, le prix du pétrole continuera à progresser dans une fourchette comprise entre € 40 et € 100 (à prix 2010¹⁶) avec de fortes fluctuations¹⁷ autour de ces moyennes.

A partir de 2030, le rythme de croissance du prix du baril de brut accélèrera du fait de la raréfaction de la ressource et de la baisse de la production mondiale par palier. Les prix devraient s'établir dans une fourchette comprise entre € 130 et € 170 avec les mêmes causes de variations brutales de prix autour de ces moyennes.

4.6.1.3. HYPOTHESES SUR LE POIDS DES ENERGIES FOSSILES DANS LE MIX ENERGETIQUE MONDIAL

Les hypothèses relatives au mix énergétique s'appuient également sur le scénario « Energy Technology Perspectives 2010 » de l'IEA. Le scénario de référence d'ETP 2010 suit le scénario de référence du World Energy Outlook 2009 (WEO 2009) qui s'étend jusqu'à 2030, et le prolonge jusqu'à 2050. Il repose sur l'hypothèse que les gouvernements ne mettent pas en place de nouvelles politiques énergétiques et climatiques.

Selon ce scénario, les combustibles fossiles restent la source d'énergie primaire prédominante dans le monde, et représentent plus des trois quarts de l'augmentation totale de la consommation énergétique entre 2007 et 2030. Toutefois, la part du charbon augmente sensiblement compte tenu de la disponibilité limitée de la ressource. Le principal moteur de la demande de charbon et de gaz est l'augmentation inexorable des besoins en énergie pour produire de l'électricité.

Ce scénario de référence se traduit donc par une hausse rapide des émissions de CO₂ liées à l'énergie d'ici 2030, du fait de l'accroissement de la demande mondiale d'énergie fossile. L'évolution prévue dans le scénario de référence avive également les préoccupations concernant la sécurité des approvisionnements énergétiques.

¹⁶ En prix constants

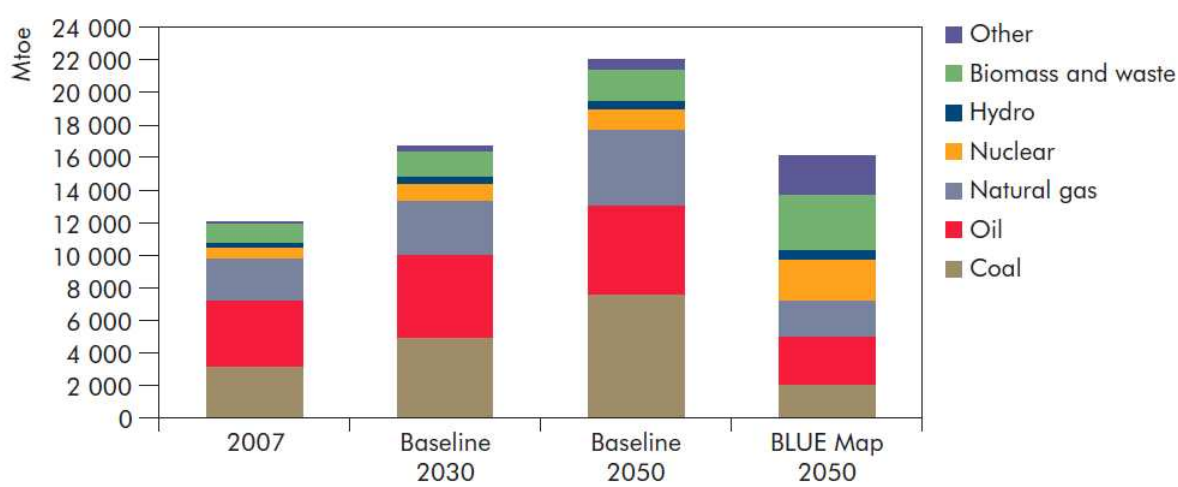
¹⁷ Tensions géopolitiques, augmentation croissante de la demande mondiale, phénomènes spéculatifs.

Chiffres clés du scénario :

Variable	Unité	2007-2015	2015-2030	2030-2050
Population	Millions de personnes	7302	8309	9150
GDP	% / an	3,3	3,0	2,6
Crude Oil imports	€2010/baril	73	89	93

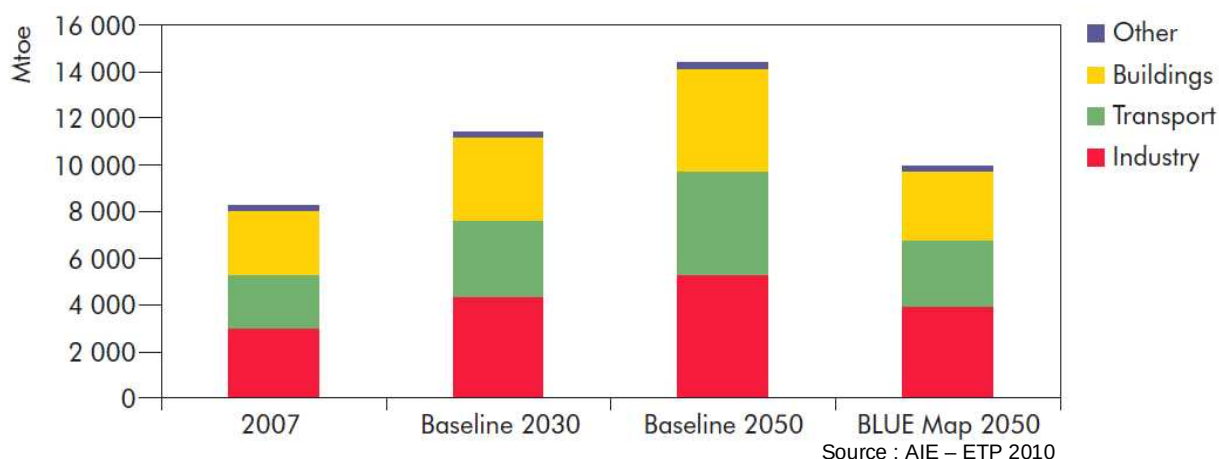
Source : AIE – ETP 2010

Evolution du mix énergétique mondial par source d'énergie (production d'énergie primaire)



Source : AIE – ETP 2010

Evolution mondiale de la consommation finale d'énergie par secteur



Par ailleurs, toujours au niveau mondial, à horizon 2050 :

- Les émissions de CO₂ liées à l'énergie doublent (usage plus intensif du charbon) ;
- La consommation d'énergie primaire augmente de 84 %, tandis que l'intensité en CO₂ de l'énergie utilisée augmente de 7% ;
- La demande de combustibles fossiles liquides augmente de 57 %, ce qui oblige à utiliser d'importantes quantités de pétrole non conventionnel et de combustibles de synthèse ; la demande de charbon primaire croît de 138 % ; la demande de gaz est supérieure de 85 % ;
- Les émissions de CO₂ dues à la production d'électricité font plus que doubler ; l'intensité de CO₂ de la production d'électricité diminue légèrement pour s'établir à 459 g/kWh ;
- Plus des deux tiers de l'électricité sont produits à partir de combustibles fossiles ; la part des énergies renouvelables augmente légèrement pour atteindre 22 % ;
- Les émissions de CO₂ du secteur des bâtiments, y compris celles associées à la consommation d'électricité, doublent ;
- Environ 80 % des ventes de véhicules légers concernent des véhicules à motorisation essence ou diesel classique ; les produits pétroliers couvrent plus de 90 % de la demande d'énergie pour les transports ;
- Les émissions de CO₂ dans l'industrie augmentent de près de 50%, suivant la croissance de la production industrielle mondiale ;
- Les pays non membres de l'OCDE sont responsables de 90 % environ de l'augmentation de la demande d'énergie et comptent pour environ les trois quarts des émissions mondiales de CO₂.

A partir de ces éléments bibliographiques, le BIPE retient les tendances internationales

suivantes pour son scénario d'évolution de la production et de la consommation d'énergie en France à l'horizon 2070 :

- Peak oil : le seuil a été atteint dans la première décade des années 2000. Les effets ne sont réellement perceptibles qu'à partir de 2030, entraînant une envolée des prix au baril en raison du principe de rareté et des chutes brutales de production ;
- A l'échelle planétaire, les combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz) demeurent la principale source d'approvisionnement en énergie ;
- La consommation de gaz prend une part plus importante dans le mix, car non seulement l'état actuel des réserves disponibles en font l'un des meilleurs substituts au charbon, mais également parce d'autres gisements¹⁸ jusqu'alors inexploitable viendront accroître la production mondiale de gaz ;
- La part du nucléaire reste relativement stable dans le mix énergétique mondial ; la France reste atypique puisque la plus grande majorité (+ de 90%) de sa production électrique reste assuré par ce procédé.
- Les énergies renouvelables sont en croissance dans le mix mondial, leurs usages, augmenteront plus significativement dans le mix énergétique des pays industrialisés ; leur part restera néanmoins en retrait par rapport aux énergies fossiles.
- Les pays industrialisés consomment de moins en moins de produits pétroliers dans leur mix énergétique individuel, la demande est exclusivement tirée par les pays en développement (essentiellement l'Asie).
- D'une manière générale, la demande énergétique mondiale sera amenée à croître entraînant une rivalité croissante entre les Etats, ceux qui le peuvent cherchant à assurer leur indépendance énergétique.
- La compétition mondiale renforcée dans le secteur industriel militera en faveur d'une énergie à bas prix et à un usage sensible de la taxation comme levier d'ajustement.
- La réalité du changement climatique à l'échelle planétaire nécessitera une coordination des actions à l'échelle internationale et les efforts à conduire par les pays développés devront être plus importants que pour les autres. Ces efforts seront néanmoins largement atténués par la croissance de rattrapage des grands pays émergents (notamment la Chine et dans une moindre mesure l'Inde).

¹⁸ Il s'agit pour l'essentiel de l'exploitation de gaz de schiste (« shale gas ») que les nouvelles technologies de forage permettent d'exploiter à une grande échelle. Les Etats-Unis ont dès le début des années 2000 utilisé cette nouvelle source d'énergie pour assurer leur indépendance énergétique, d'autres pays dont la France ont déposé des brevets d'exploration en masse.

4.6.2. EVOLUTION DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE ET DE LA PRODUCTION D'ENERGIE PRIMAIRE EN FRANCE A L'HORIZON 2070.

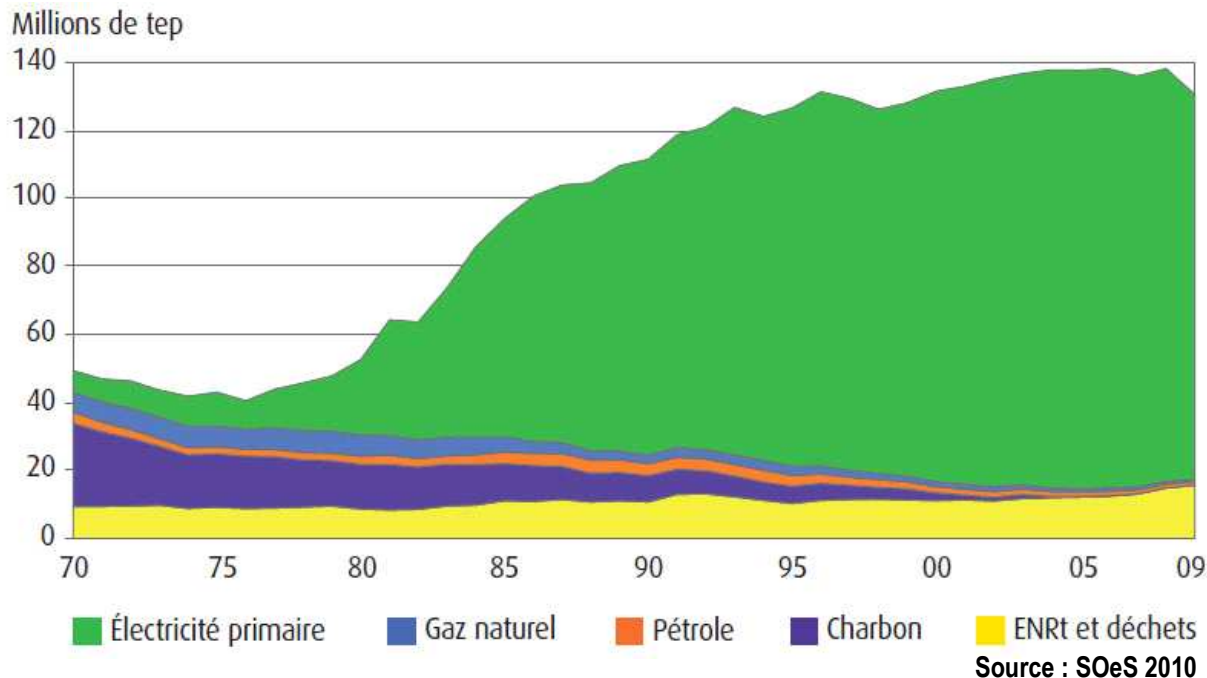
L'objectif du module énergie est de :

- Chiffrer les évolutions de la consommation d'énergie en France, par grand secteur (tertiaire-résidentiel, transports, industrie (hors sidérurgie), sidérurgie, agriculture) en appréciant, pour chacun, l'évolution de la part de chacune des énergies dans le mix du secteur ;
- Quantifier la production d'énergie primaire en France qui découle de ces évolutions en tenant compte du mix énergétique et des évolutions de l'efficacité énergétique des secteurs.

4.6.2.1. HYPOTHESES RELATIVES AU MIX ENERGETIQUE

Si les 30 dernières années n'ont pas connu de véritable rupture technologique, elles se sont néanmoins traduites par la forte croissance de la part du nucléaire en France, qui assure aujourd'hui l'essentiel des besoins en électricité.

A titre d'illustration, le graphe présenté ci-après montre l'évolution de la production d'énergie primaire en France depuis 1970.



Les connaissances actuelles en matière de technologies inhérentes au secteur énergétique ne permettent pas d'envisager de rupture majeure au cours des 30 prochaines années. Les technologies actuelles, qui offrent encore des marges de progrès en termes d'efficacité

énergétique des installations et des équipements, continueront cependant de s'améliorer. On peut citer à titre d'exemple les dernières générations de centrales nucléaires (IIIème et IVème génération de réacteurs EPR) qui améliorent le rendement individuel de chacune des unités installées. Ainsi le rendement actuel des centrales en activité est de l'ordre de 33%, ceux de la quatrième génération (prévu à l'horizon 2030) sera de 35% contre 25 à 30% pour les toutes premières générations de réacteurs dans les années 70.

Dans les secteurs utilisateurs, et notamment l'industrie, les choix stratégiques qui seront effectués par les entreprises soucieuses de réduire leurs coûts dans un contexte d'énergie rare et à prix volatile, au gré des évolutions du contexte géopolitique, combinés aux évolutions technologiques (inhérentes ou non au secteur de l'énergie) permettront de nouveaux gains en matière d'efficacité énergétique des infrastructures et des équipements.

En revanche, si, sur le passé, les progrès en termes d'intensité énergétique des secteurs ont été effacés par l'augmentation tendancielle de la demande d'énergie en lien avec les évolutions de modes de vie des français, les décennies à venir pourraient voir quelques changements, comme on le verra plus loin.

En effet, au cours des dernières décennies, plusieurs facteurs ont tiré la demande finale en énergie : le développement des transports (individuels et collectifs), les hausses des taux d'équipement des ménages et des entreprises en matériels électriques (télévisions, climatisations individuelles, technologies numériques, équipements blancs¹⁹, etc. Ces évolutions ont été d'autant plus accentuées du fait de la tendance à l'individualisation et à la diminution de la taille moyenne des ménages. Bien que les constructeurs de matériels domestiques aient pris en compte ce phénomène sociétal en adaptant la taille des matériels (essentiellement sur les équipements blancs), il en résulte une hausse de consommation énergétique car les taux de pénétration de la technologie et du confort continuent à progresser au sein des foyers. Le fait que, dans les années à venir, les « nouveaux ménages d'une personne » seront non plus tellement des jeunes qui s'installent et s'équipent, que des seniors qui perdent éventuellement un conjoint – mais qui sont donc déjà « équipés » diminuera le poids de cette tendance. Certes, les effets de seuil²⁰ et les cycles de renouvellement vers des matériels plus énergétiquement économes tendent à limiter la croissance de la consommation énergétique totale, mais sans toutefois la compenser complètement.

¹⁹ Par équipement blanc il est couramment entendu les équipements domestiques du foyer tels que les « lave-linge, les lave-vaisselles, réfrigérateurs, fours etc.

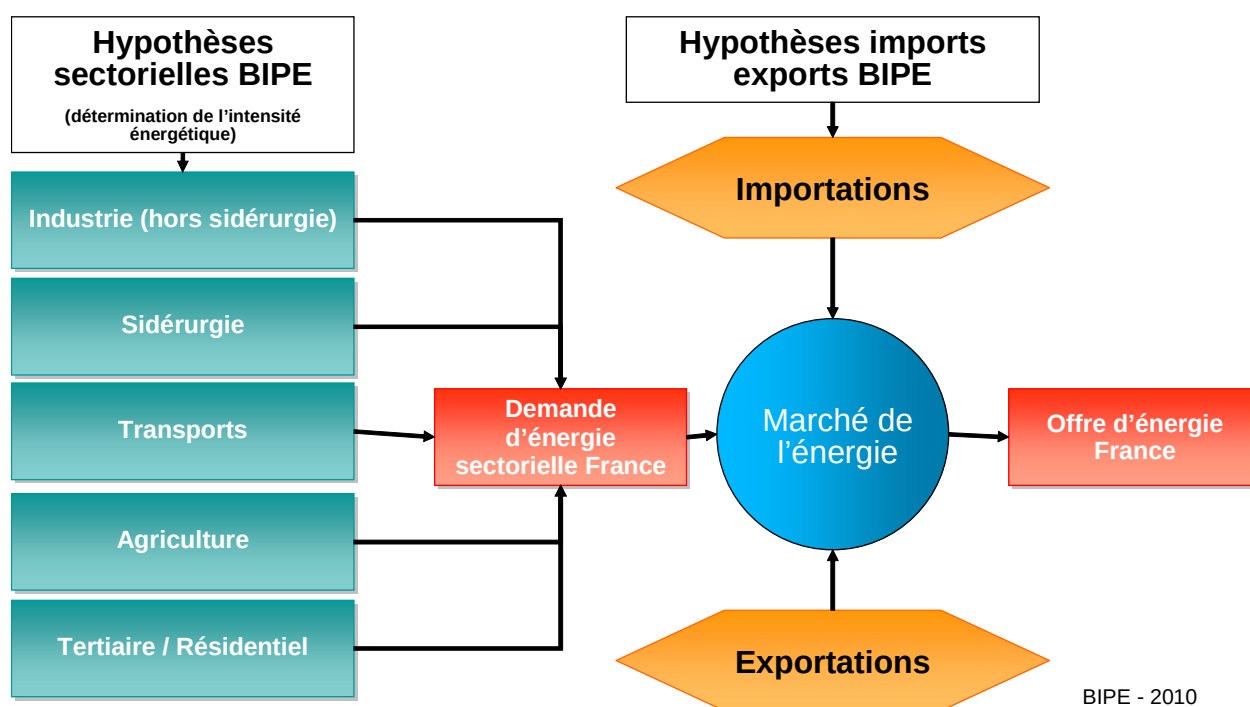
²⁰ 100% de taux d'équipement pour un matériel donné comme c'est par exemple presque le cas pour les lave-linge

Ce bref retour sur le passé montre que **c'est dans l'évolution des comportements individuels et d'opinion que réside les plus grandes marges de manœuvre pour réduire la consommation finale d'énergie et, dans une moindre mesure, dans l'amélioration des technologies existantes (indépendamment de toute rupture technologique non abordée dans le présent rapport).**

4.6.2.2. RESULTATS DE LA MODELISATION DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE D'ENERGIE EN FRANCE A L'HORIZON 2070.

Le schéma ci-après fourni une vision simplifiée des grandes étapes de la modélisation.

Logigramme simplifié du modèle de prévisions offre/demande d'énergie en France du BIPE



Les hypothèses structurantes sont les suivantes :

- **Objectifs nationaux** : la France poursuit ses objectifs de développement durable tels que ceux définit successivement dans les « Grenelle de l'environnement », sans nécessairement que ces objectifs soient atteints.
- **Pétrole** : compte tenu des évolutions au niveau mondial, on suppose une accélération, en France, de l'utilisation d'énergies de substitution dans les mix sectoriels (notamment dans le secteur des transports qui est le plus sensible à cette énergie).

- **Electricité** : La production d'électricité en France reste majoritairement produite à partir des centrales nucléaires dont le parc sera progressivement, mais complètement, renouvelé à l'horizon 2070. Les nouvelles centrales (4ème génération) disposeront de tranches de puissance plus importantes, le nombre de sites sera réduit en conséquence.
- **Industrie et sidérurgie** : compte tenu de la concurrence mondiale et de l'évolution des besoins en France et en Europe, ces deux grands secteurs se concentrent sur une production à forte valeur ajoutée ; le paysage industriel français change, avec une diminution du poids de l'industrie lourde (chimie, papeterie ...) et une hausse du poids d'industries peu consommatrices en énergie (productions high-tech, assemblage final de sous-ensembles sous-traités hors Europe ...). Les améliorations attendues en matière d'efficacité énergétique relèvent donc à la fois des changements de mix produits au sein de chacun des deux grands secteurs, d'évolutions des processus de production (hausse du poids des matériaux secondaires), d'une amélioration des technologies actuelles (ex : baisse de température dans les process), et d'évolutions dans l'organisation des activités sur le territoire (co-génération, etc., par des « clusters » d'entreprises donc touchant aussi les plus petites d'entre elles) plutôt qu'elles ne reflètent de vraies ruptures technologiques.
- **Transports** : Les parcs de véhicules évoluent majoritairement vers une motorisation hybride, et dans une moindre mesure vers d'autres énergies de substitution (GNV, biocarburants). Une partie non négligeable de l'énergie – électricité - étant assurée par de l'autoproduction (récupération de l'énergie cinétique), l'intensité énergétique du secteur dépend plus de la croissance du parc et des usages de ce dernier (intensité kilométrique) que de ruptures technologiques.
- **Agriculture** : La part des EnR occupe une place de plus en plus importante dans le mix énergétique du secteur, et ce afin de palier la hausse du prix des produits pétroliers. L'évolution de la production se caractérise aussi par la recherche d'optimisation des surfaces et des assolements exploitées afin de réduire l'intensité énergétique du secteur.
- **Résidentiel-Tertiaire** : L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments neufs combinée à la rénovation du parc (aux nouvelles normes énergétiques) permet de réduire considérablement l'intensité énergétique de ce secteur. La prise de conscience environnementale et la modification des comportements contribuent également à baisser les niveaux de consommations au m². Une partie de la consommation énergétique des bâtiments résidentiels est « auto-produite », du fait de l'équipement des ménages en installations reposant sur les énergies renouvelables, ce qui réduit d'autant les taux apparents d'efficacité énergétique, mesuré comme la part des énergies achetées par les ménages, et non à partir de l'énergie totale consommée, y compris l'auto-consommation.

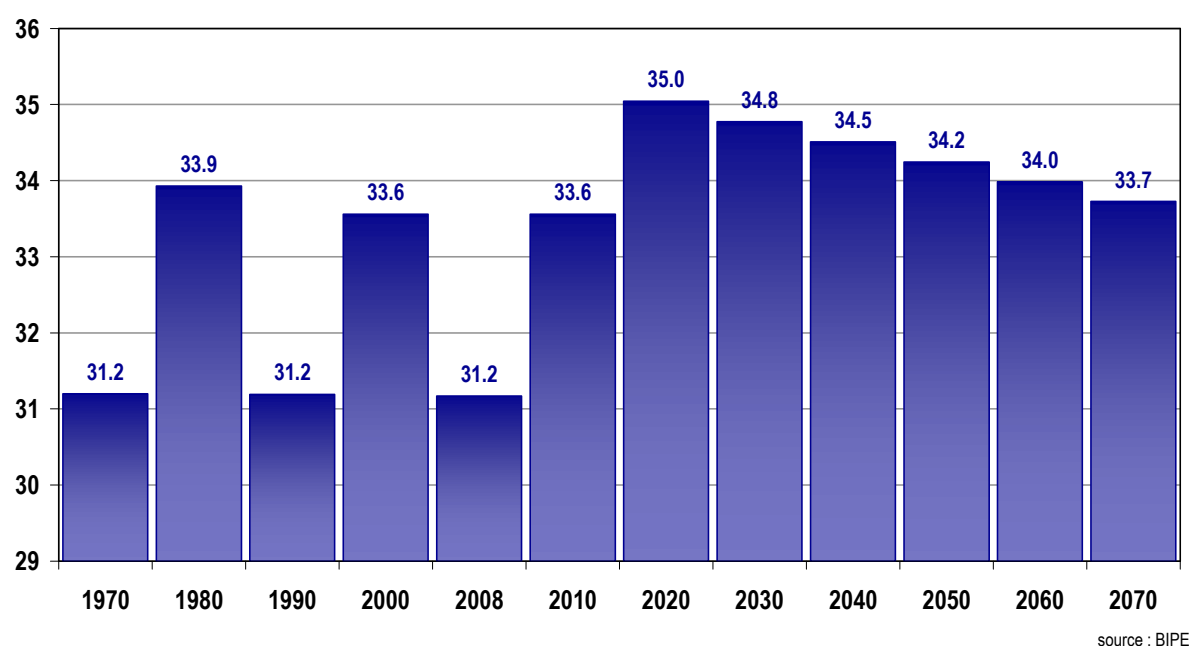
4.6.2.3. EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL (HORS SIDERURGIE).

Le tableau ci-après présente le taux de croissance annuel moyen (TCAM) de la production industrielle (résultant de la modélisation sectorielle présentée auparavant) et les hypothèses en matière d'intensité énergétique du secteur à l'horizon de l'étude.

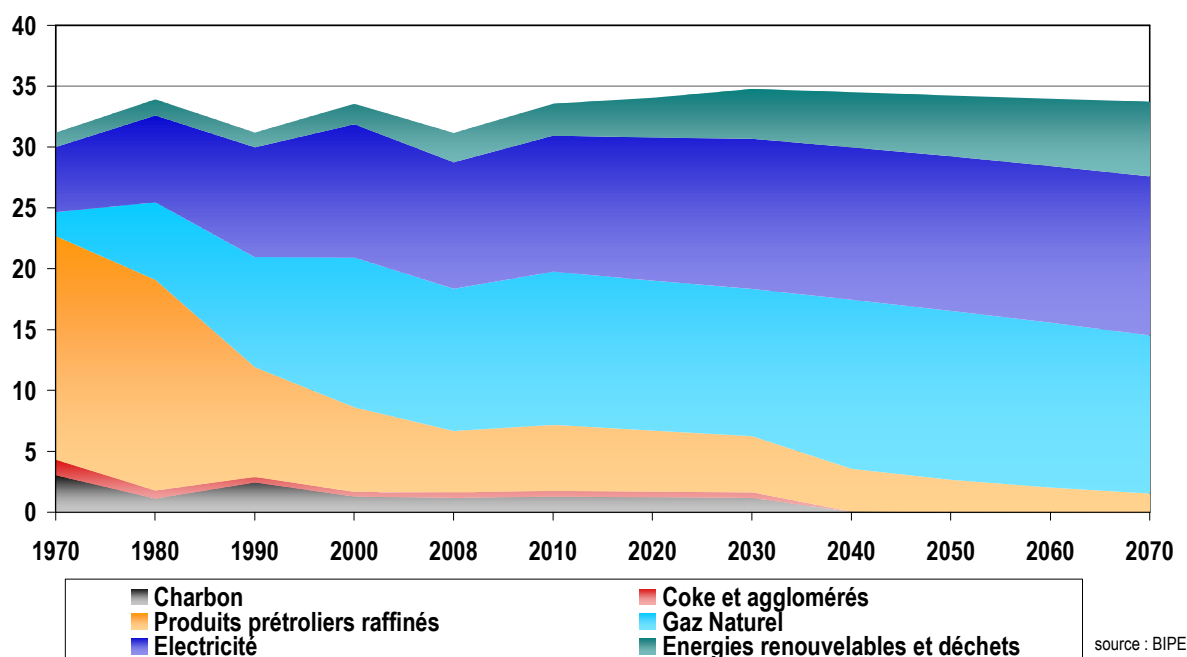
	2010/2008	2020/2010	2070/2020
Production industrielle	-2,4%	2,0%	2,0%
Intensité énergétique	-0,7%	-1,5%	-2,0%

Les résultats de la modélisation sont présentés dans les graphiques ci-après.

Evolution de la consommation finale d'énergie dans l'industrie en Mtep



Evolution du mix énergétique dans le secteur industriel (hors sidérurgie) en Mtep



La consommation d'énergie dans le secteur industriel (hors sidérurgie) s'établit à 33,7 millions de tonnes équivalent pétrole à l'horizon 2070, contre 31,2 en 2008.

C'est principalement l'amélioration des technologies existantes qui permet de réduire l'intensité énergétique de ce secteur.

Le charbon et le coke disparaissent complètement du mix énergétique du secteur industriel à l'horizon 2040 du fait de la concentration de ce dernier sur une production à plus forte valeur ajoutée. La part des produits pétroliers dans le mix énergétique reste stable jusqu'au début des années 2030, puis entame une décroissance en raison de la rareté de la ressource et des hausses de prix du baril de pétrole. A l'horizon 2070, les produits pétroliers ne représentent plus que 4,5% des consommations contre 16,2% en 2010.

Les principaux substituts au pétrole dans ce secteur sont le gaz de réseau et dans une moindre proportion les énergies renouvelables (essentiellement le bois), la part de l'électricité reste stable au sein du mix énergétique.

4.6.2.4. EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE SECTEUR SIDERURGIQUE.

Le secteur sidérurgique, tout comme le reste de l'industrie, se spécialise sur des produits à forte valeur ajoutée. Le secteur, qui s'est déjà largement concentré au cours des dernières

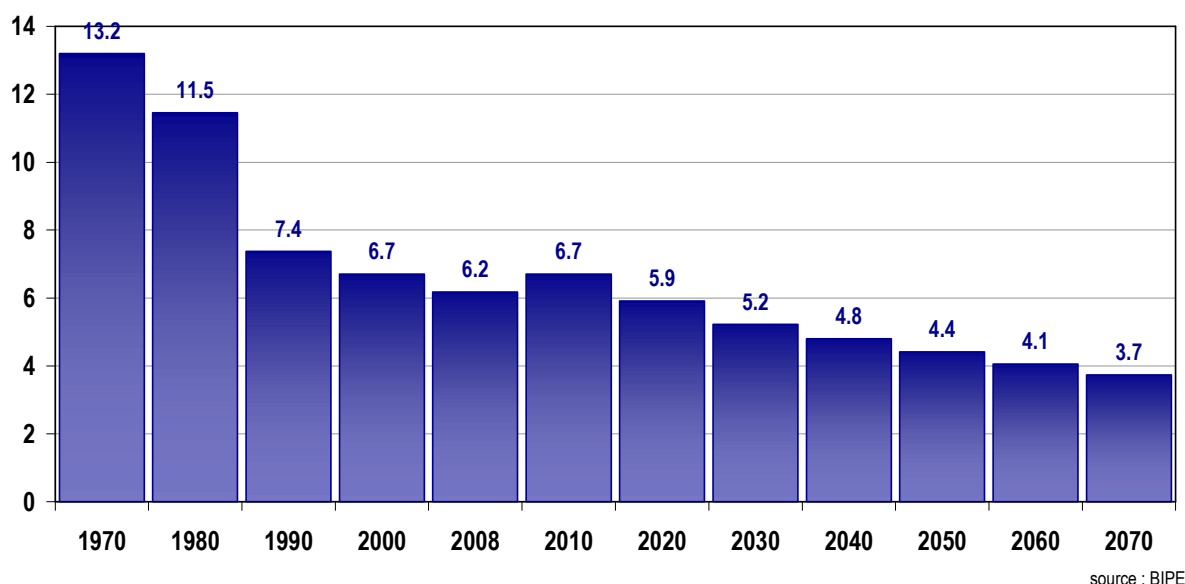
décennies, devrait encore vivre quelques restructurations qui limiteront le nombre de sites en France, la production nationale étant adaptée à un marché tiré par la construction, l'industrie automobile et aéronautique. L'augmentation de la part de la production secondaire conduit aussi à réduire la consommation énergétique moyenne par tonne produite.

Les marges de manœuvre pour limiter la consommation énergétique sont relativement étroites tant les procédés du secteur ont été optimisés au fil des ans. Dans le cadre d'un scénario tendanciel, on intègre l'hypothèse d'une amélioration des procédés relevant par exemple d'une baisse des températures de process, même si cette technologie ne devrait émerger qu'à partir de 2030.

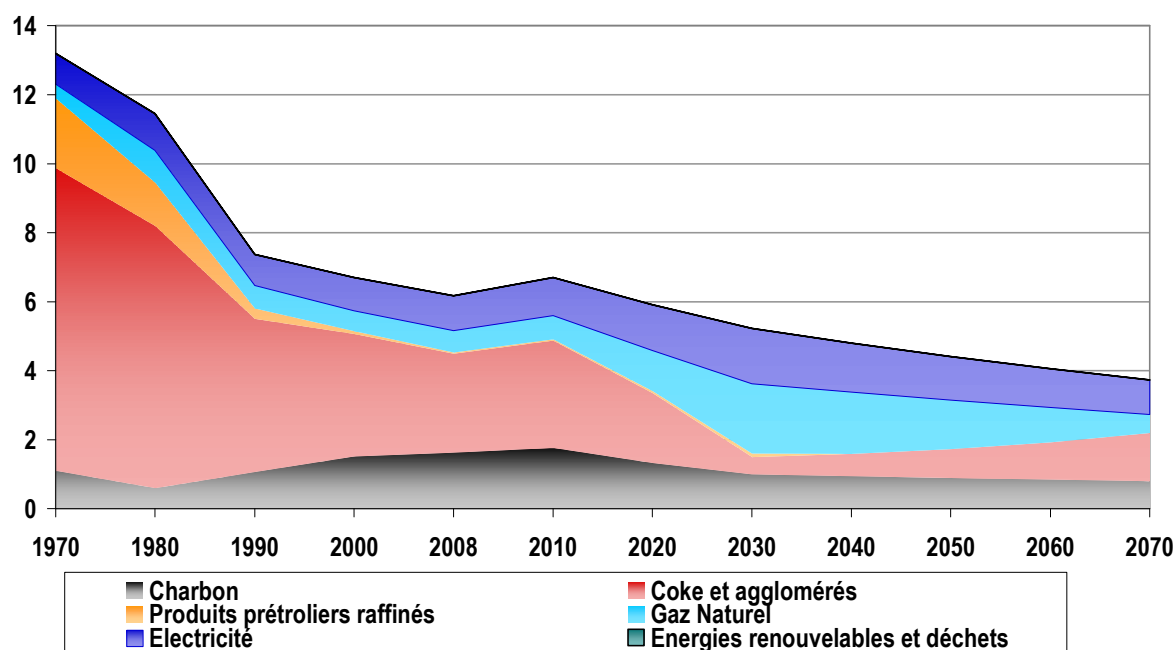
Les hypothèses et résultats à l'horizon 2070, aussi bien dans le scénario « Concentration de l'habitat » que dans le scénario « Etalement3, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	2010/2008	2030/2010	2070/2030
Production sidérurgique	-7,5%	-0,5%	-0,5%
Intensité énergétique	0,8%	-0,7%	-0,3%

Evolution de la consommation finale d'énergie dans le secteur sidérurgique en Mtep



Evolution du mix énergétique dans le secteur sidérurgique en Mtep



Sur la base d'une décroissance annuelle moyenne de l'ordre de 0,5%, la consommation énergétique du secteur sidérurgique devrait s'établir aux alentours de 3,7 millions de tonnes équivalent pétrole en 2070 contre 6,2 millions en 2008.

Ce secteur sidérurgique restera le seul secteur utilisateur de charbon et de coke (notamment nécessaire à la production de métaux ferreux). Les produits pétroliers, déjà minoritaires dans le mix du secteur, sont amenés à disparaître complètement en raison de la montée des prix de ce combustible fossile. Le gaz de réseau (réchauffage, laminage, etc.) et l'électricité (fusion et installations électriques diverses) seront les deux principales sources d'approvisionnement énergétique pour la production du secteur.

D'une manière plus générale, il est important de noter que, quels que soient les efforts consentis pour réduire les consommations énergétiques de ce secteur, l'impact global sur les volumes d'énergie consommée sera relativement faible car le secteur ne représentait que 3,6% de la consommation totale en 2008.

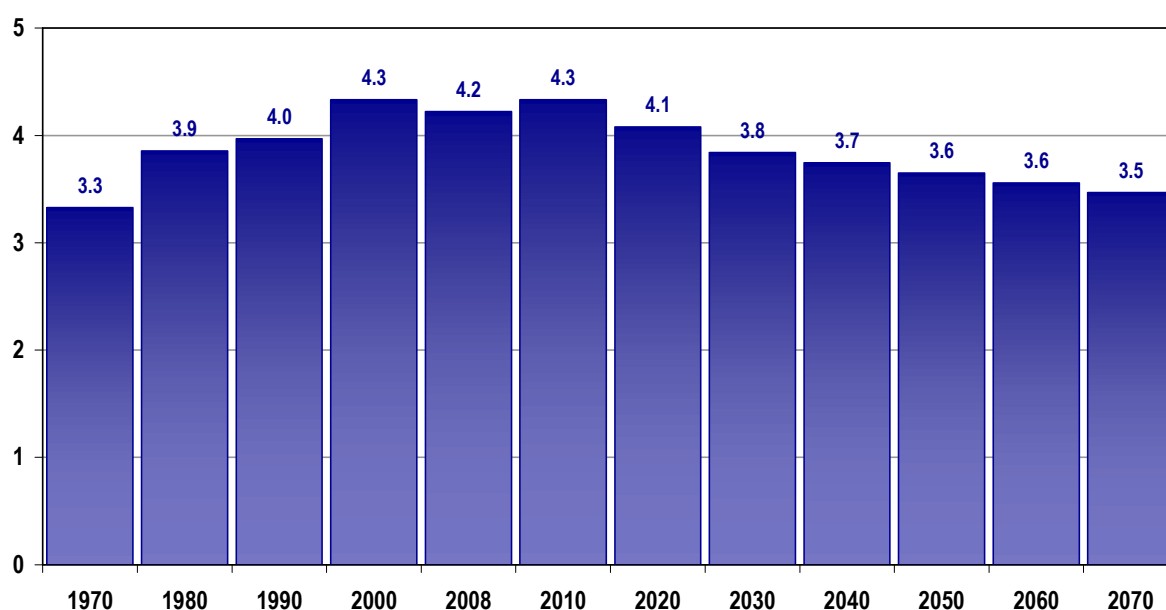
4.6.2.5. EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE SECTEUR AGRICOLE.

Concernant le secteur agricole, on peut formuler la même remarque que celle relative au secteur sidérurgique : le secteur agricole est peu consommateur d'énergie donc la somme des efforts consentis pour réduire la consommation énergétique de ce secteur n'aura qu'un impact modéré sur l'ensemble des volumes nationaux consommés : en 2008, le secteur ne représente en effet que 2,6% de la consommation finale d'énergie. C'est la raison pour laquelle seuls les résultats du scénario « concentration de l'habitat » sont présentés ci-dessous. Le scénario « Etalement » s'accompagne en effet d'une moindre production agricole, donc d'une moindre demande finale d'énergie que le scénario concentration présenté ci-dessous – sans pour autant que cette différence ne pèse beaucoup sur la demande finale nationale.

Le chapitre spécifique sur l'agriculture apporte un niveau d'information détaillé sur les perspectives d'évolution de ce secteur à l'horizon 2070 dans les deux scénarios tendanciels. Les hypothèses qui ont été utilisées pour la modélisation et les résultats sont présentés ci-dessous.

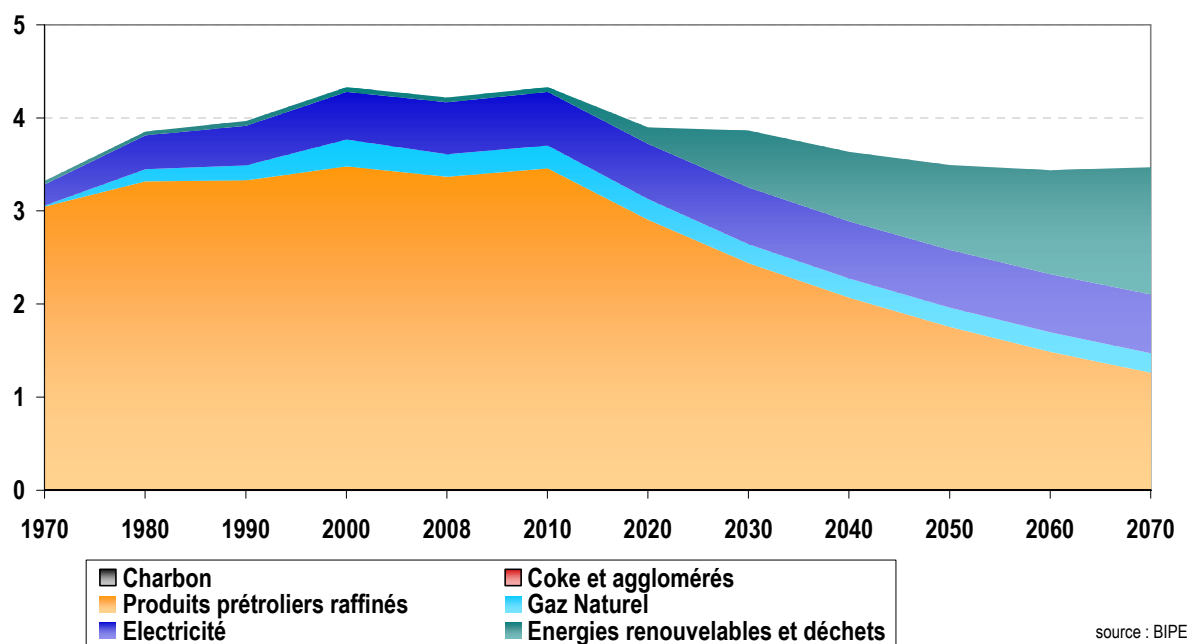
	2010/2008	2030/2010	2070/2030
Production sidérurgique	-1,4%	0,1%	0,1%
Intensité énergétique	-0,4%	-0,7%	-0,3%

Evolution de la consommation finale d'énergie dans le secteur agricole en Mtep



source : BIPE

Evolution du mix énergétique dans le secteur agricole en Mtep



Les produits pétroliers raffinés sont la source principale d'énergie dans le secteur agricole. De ce fait, le secteur est fortement exposé à la hausse du prix du baril et devra assurer une transition vers d'autres sources d'énergie pour éviter de subir les conséquences du peak oil.

De par sa nature, il est toutefois le secteur le plus à même de donner rapidement une place importante aux énergies renouvelables, notamment au bois et à l'éolien. C'est également un secteur qui produit beaucoup de déchets qui peuvent être valorisés sous forme énergétique.

C'est sur cette base d'hypothèses que la structure du mix énergétique du secteur agricole a été déformée, la part du gaz et de l'électricité étant relativement stable tout au long de la période étudiée.

Ainsi le BIPE estime à l'horizon 2070 une consommation totale en énergie de l'ordre de 3,5 millions de tonnes équivalent pétrole dans le scénario « Concentration de l'habitat », contre 4,2 en 2008. La part des EnR et des déchets devrait s'établir à hauteur de 39% du mix énergétique contre 1,2% en 2008. Les produits pétroliers quant à eux devraient suivre une tendance baissière tout au long de la période pour représenter 36% en 2070 contre 80% en 2008.

4.6.2.6. EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LE SECTEUR DES TRANSPORTS.

Tout comme l'agriculture, l'activité de transport (transport passager et fret, marchande et non-marchande) est fortement exposée au spectre du « peak oil ». Même si une transition énergétique est déjà engagée dans ce domaine, les dérivés du pétrole devraient encore composer l'essentiel des usages à l'horizon 2070. En effet, indépendamment de toute nouvelle rupture technologique, la grande majorité du parc roulant devrait évoluer vers une technologie hybride (carburant et transformation de l'énergie cinétique en électricité). Les marges d'amélioration de cette technologie sont en effet encore nombreuses (notamment en ce qui concerne la récupération et la valorisation des gaz d'échappement). Des percées fulgurantes d'autres technologies semblent à ce stade encore irréalistes car elles ne sont pas assez matures pour prendre le pas sur pétrole. Des gains sont néanmoins encore attendus en termes de consommation moyenne des véhicules à motorisation classique, et la part de l'électrique devrait augmenter progressivement, notamment pour les usages urbains. Rappelons que le tout électrique pose (encore) des problèmes d'autonomie, de vitesse de pointe, d'infrastructures à déployer pour assurer l'approvisionnement des véhicules ; quant aux technologies de moteur à hydrogène elles n'en sont encore qu'à leur balbutiement et laissent planer des doutes sur leur viabilité.

Concernant les agrocarburants, même si ceux-ci sont bien positionnés pour occuper une place de plus en plus importante dans le mix du secteur, leur production pose encore des problèmes de rendement (seule une fraction de la plante est exploitable pour produire le carburant) et est directement en concurrence avec la production alimentaire en termes d'occupation de surfaces au sol. Cela laisse encore planer des doutes sur l'avenir de ce carburant. L'hypothèse faite ici est qu'ils soient de plus en plus mélangés aux carburants traditionnels (mix-fuel) pour atténuer l'effet des fluctuations des prix du pétrole.

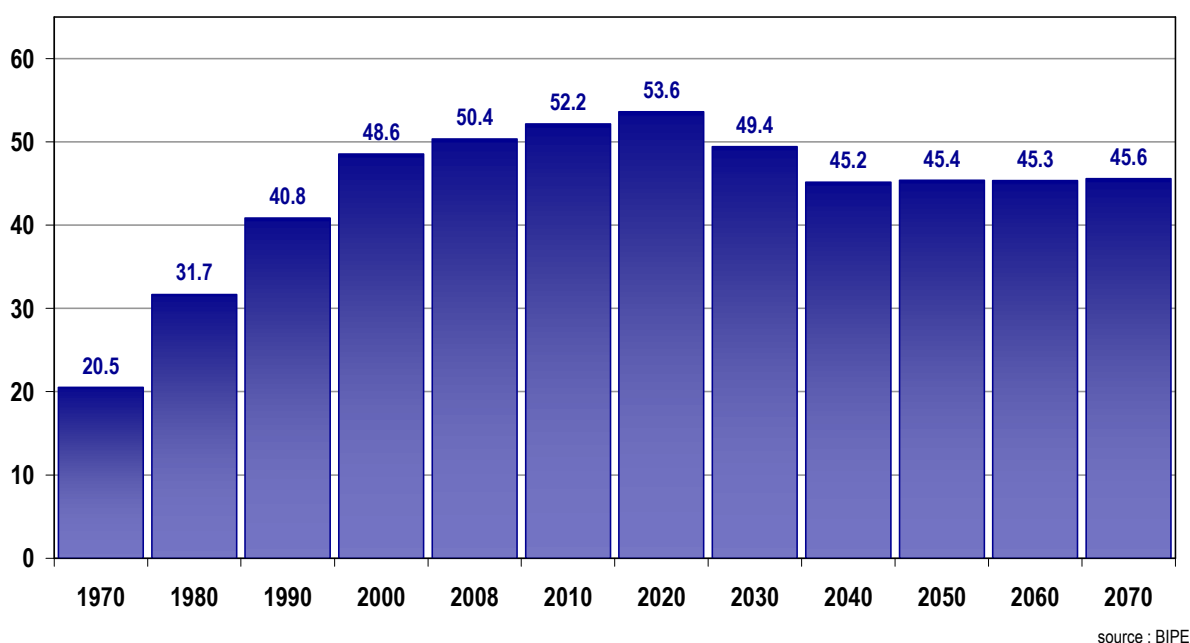
Cela étant, la plus grande marge de manœuvre pour réduire la consommation énergétique dans le secteur des transports repose sur les modifications de comportements individuels vis-à-vis de l'usage des véhicules : il existe en effet un vaste gisement de kilomètres inutiles à éradiquer. Dans le cadre de ce scénario tendanciel, on peut imaginer un frein réglementaire (avec comme levier la taxation des zones de circulation suivant le principe du pollueur payeur, comme c'est le cas à Londres où des péages ont été instaurés pour réduire le trafic de manière significative).

Les hypothèses et résultats sont présentés ci-après, dans le scénario « Concentration de l'habitat ». Ces consommations seront supérieures dans le scénario « Etalement », compte tenu de la hausse attendue du nombre de km moyen parcourus par les ménages, et

l'augmentation du nombre de tonnes-kilomètres dans ce scénario.

	2010/2008	2020/2010	2030/2020	2040/2030	2050/2040	2060/2050	2070/2060
Kilomètres parcourus	-0,9%	-0,1%	+1,3%	-0,4%	+0,3%	+0,5%	+0,5%
Intensité énergétique	+1,7%	-0,1%	-3,5%	-1,6%	-0,5%	-0,8%	-0,1%

Evolution de la consommation finale d'énergie dans le secteur des transports en Mtep



La consommation finale d'énergie liée aux transports s'établit à 45,6 millions de tonnes équivalent pétrole en 2070 contre 50,4 millions en 2008. La part des dérivés du pétrole diminue de manière continue sur la période, pour atteindre 24% en 2070, contre 93% en 2008. C'est principalement l'énergie électrique qui remplace les produits pétroliers dans la consommation du secteur des transports. La part des énergies renouvelables directement utilisées comme carburant, c'est-à-dire les biocarburants, se stabilise quant à elle autour de 10% à partir de 2040.

Cette consommation accrue d'énergie électrique est rendue possible par la transition progressive du parc de véhicules particuliers vers des moteurs hybrides, tout électrique et à hydrogène, tandis que les véhicules à moteur à combustion interne disparaissent

progressivement du parc. En volume, le parc de véhicules particuliers progresse à hauteur de 33 millions véhicules en 2008 contre 31 millions en 2008.

4.6.2.7. EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LE SECTEUR TERTIAIRE-RESIDENTIEL.

Le secteur tertiaire-résidentiel est le secteur économique le plus énergivore : il représentait à lui seul 43,8% de la consommation totale d'énergie en France en 2008. Mais c'est également le secteur qui dispose des plus grandes marges de manœuvre pour réduire sa consommation énergétique.

D'une part, les infrastructures deviennent et deviendront de plus en plus économes en énergie sous l'impact de la pression réglementaire et de l'évolution des normes technique en matière d'isolation. D'autre part, en ce qui concerne le bâti existant, les mêmes mécanismes d'incitation réglementaire et fiscale favorisent la rénovation.

Indépendamment de la technologie (qui optimise l'efficacité énergétique d'une manière globale), et tout comme pour le secteur automobile, des marges d'efficacité importantes existent à travers un changement des comportements individuels vis-à-vis de l'utilisation de l'énergie au sein de l'habitat.

Les hypothèses structurantes utilisées par le BIPE pour construire la prospective énergétique du secteur tertiaire-résidentiel du rapport intermédiaire reposent sur poursuite des tendances actuelles, à savoir la **concentration de l'habitat en milieu urbain**.

Cette hypothèse a conditionné l'évolution du nombre de kilomètre parcourus par tête, ces derniers étant moins importants en zone urbaine qu'en zone rurale.

Dans une extension à venir de ce scénario, le BIPE proposera une déclinaison de ses prévisions dans le cadre d'un habitat étalé. Cette déclinaison impactera la variable « kilomètre » déjà mentionnée, mais également d'autres variables structurantes telles que l'évolution des technologies d'acheminement d'électricité, la probabilité de pénétration des EnR dans l'habitat rural, la capacité d'autoproduction énergétique du bâti individuel ou en réseau²¹, la probabilité de pénétration des agrocarburants dans la production de chaleur

²¹ Le Smart grid énergétique privé est une technologie émergente pouvant permettre à un ensemble de bâtis d'autoproduire et partager de l'électricité. Les volumes non consommés par les membres du réseau peuvent être délestés sur le réseau d'ERDF, on parlera alors de cogénération comme c'est par exemple le cas dans l'industrie

domestique, etc.

A l'heure actuelle, les deux scénarios tendanciels de demande d'énergie du secteur résidentiel tertiaire tiennent uniquement compte de taux d'amélioration de l'efficacité énergétique par génération de bâtiments, en supposant des taux d'amélioration identiques dans les maisons individuelles et les appartements respectivement. Ces hypothèses pourront faire l'objet d'une différenciation dans une étape ultérieure, s'il s'avérait que ces différences sont nécessaires pour mieux « encadrer » les scénarios futurs relatifs aux besoins en eau et aux pressions anthropiques.

Les hypothèses utilisées à l'heure actuelle pour déterminer la consommation du secteur tertiaire-résidentiel sont présentées dans le tableau ci-après, suivi des graphiques présentant les résultats.

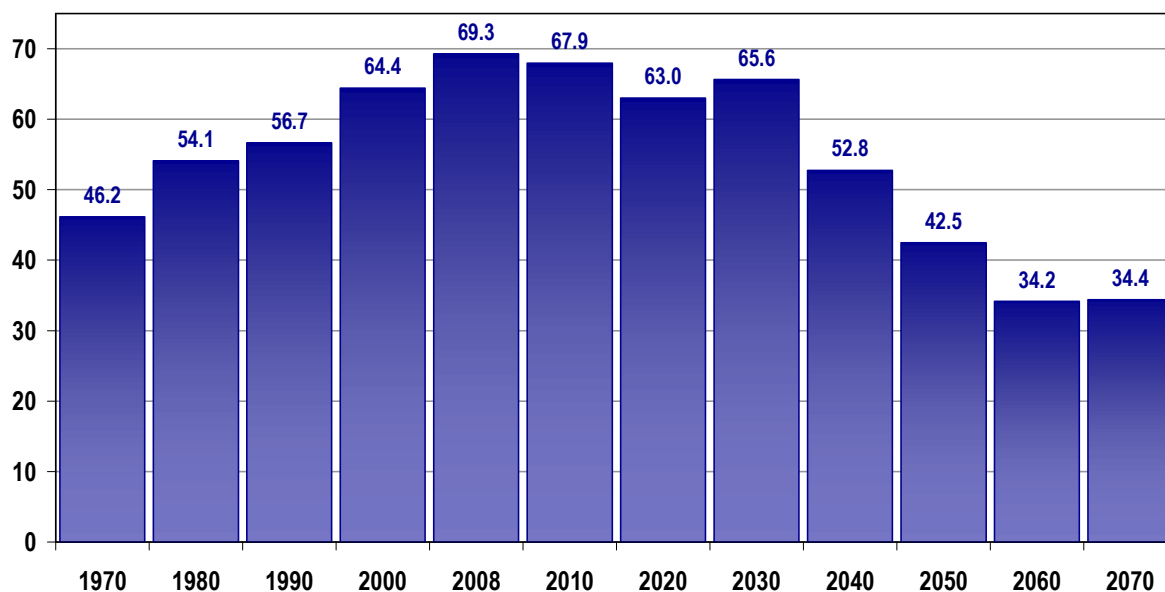
	2010/2008	2020/2010	2030/2020	2040/2030	2050/2040	2070/2050
Nbre ménages	1.2%	1.0%	0.6%	0.4%	0.3%	0.2%
Intensité énergétique des bâtiments	-0.7%	-1.1%	-1.1%	-1.1%	-1.1%	-1.1%

A l'horizon 2070, la consommation totale d'énergie du secteur tertiaire résidentiel est divisée par deux pour s'établir autour de 34,4 millions de tonnes équivalent pétrole, contre 69,3 millions en 2008.

Les dérivés du pétrole (essentiellement sous forme de fioul) sortent progressivement du mix énergétique du secteur pour presque complètement disparaître à l'horizon 2070. Ils ont comme substitut principal les EnR (essentiellement le bois) et les déchets (valorisés sous forme de chaleur, à travers les réseaux de chauffage urbain) qui viennent concurrencer les usages du gaz dans ce secteur. Ce dernier étant essentiellement utilisé pour chauffer, sa part baisse mécaniquement du fait d'une meilleure isolation thermique des bâtiments et de l'emploi des EnR comme substitut.

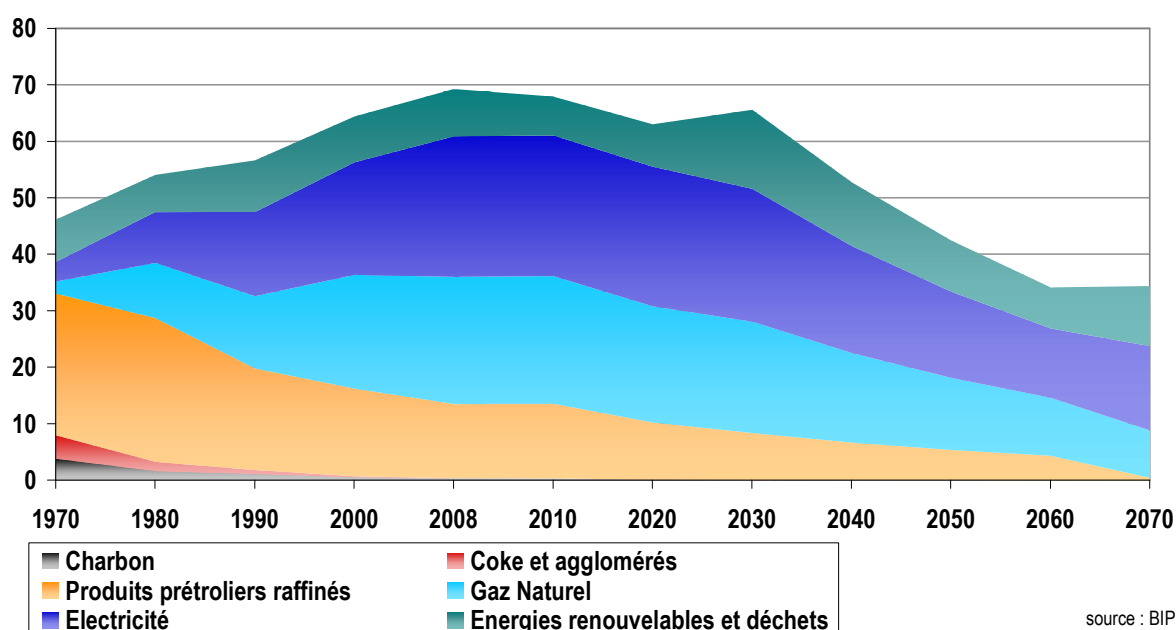
des pates-papiers-cartons qui produisent de la chaleur à partir de déchets de bois et de liqueur noire. La chaleur non consommée alimente une turbine qui déleste le surplus d'électricité sur le réseau public d'électricité.

Evolution de la consommation finale d'énergie dans le secteur tertiaire résidentiel en Mtep



source : BIPE

Evolution du mix énergétique dans le secteur tertiaire résidentiel en Mtep



source : BIPE

Les usages de l'électricité sont rationalisés : non seulement les matériels consomment de moins en moins, mais les individus sont aussi plus attentifs aux usages qu'ils en font. A ce titre, la technologie joue un rôle prépondérant, la domotique ayant pénétré presque 100% de l'habitat, chaque consommateur potentiel d'énergie peut optimiser son usage en s'appuyant

sur le profil adéquat (régulation de chaleur, pilotage intelligent des éclairages, mise en veille automatique des matériels etc.).

4.6.3. SYNTHÈSE DES CONSOMMATIONS ÉNERGETIQUES ET CONSÉQUENCES SUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE

Les résultats synthétiques de la modélisation montrent que, dans un scénario tendanciel sans rupture technologique, où l'habitat resterait plutôt concentré, la consommation d'énergie en France peut baisser d'environ 21% entre 2010 et 2070 malgré la hausse continue du PIB et de la population.

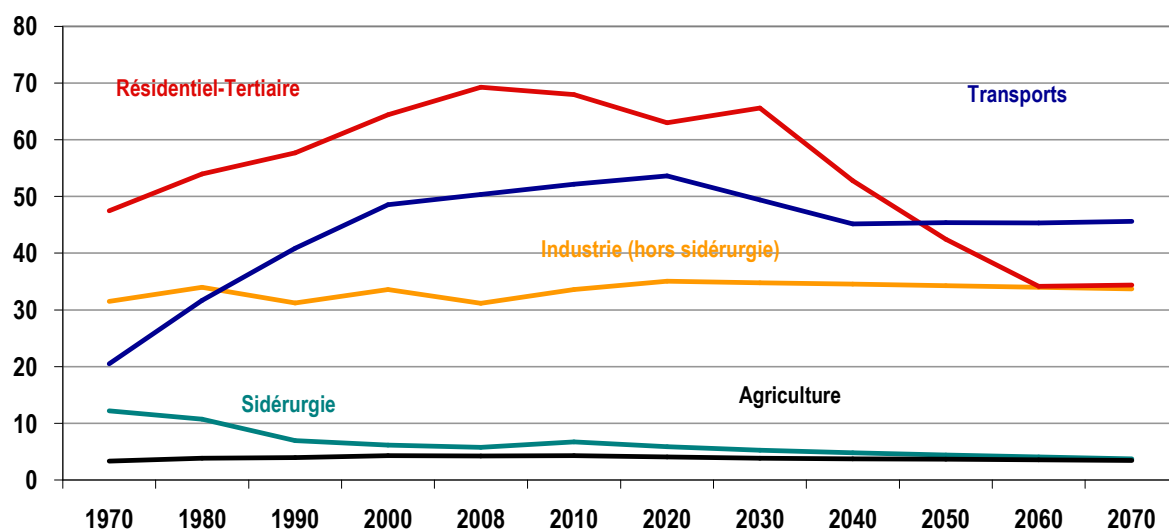
C'est le secteur tertiaire-résidentiel qui réalise la meilleure performance en matière d'économie d'énergie en raison du renouvellement et de la mise aux normes du parc de bâtis, mais aussi en raison de l'évolution des comportements individuels qui rationalisent de plus en plus les usages.

Le spectre avéré du « peak oil » et les fluctuations des prix du pétrole qui en résultent faisant prendre conscience à tout un chacun que les ressources énergétiques issues des combustibles fossiles ne sont pas infinies, les acteurs de l'économie nationale modifient leurs comportements pour pérenniser la disponibilité énergétique sur le long terme.

Dans le secteur des transports, la diffusion des progrès technologiques récents en matière de motorisation et d'efficacité énergétique des véhicules permet d'infléchir la pente d'évolution de la consommation d'énergie jusqu'en 2020, et d'enregistrer des progrès plus significatifs encore entre 2020 et 2030 du fait de la stabilisation du nombre de km moyen parcouru dans une économie vieillissante, où l'habitat se concentre peu à peu et où de nouveaux progrès technologiques se diffusent, puis les gains futurs ralentiraient permettant néanmoins de stabiliser la demande finale d'énergie à un niveau inférieur au niveau actuel jusqu'en 2070.

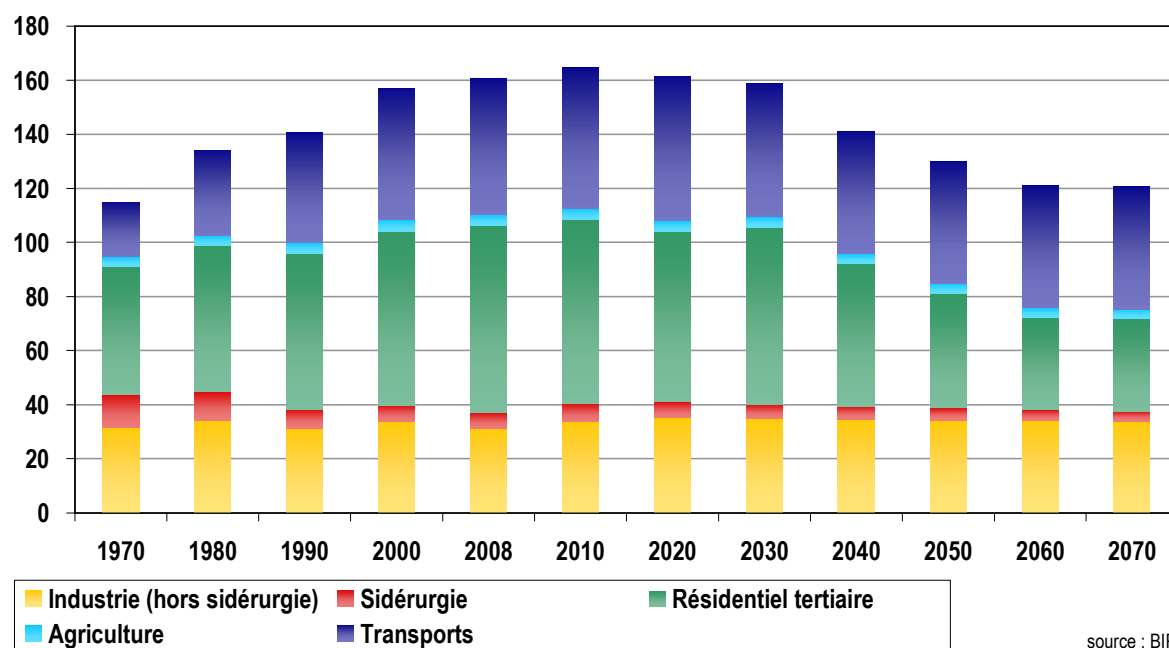
Les graphiques présentés ci-après donnent une vision synthétique globale de l'évolution prospective des consommations énergétiques par secteur :

Evolution comparée des consommations finales d'énergie pour les grands secteurs en Mtep



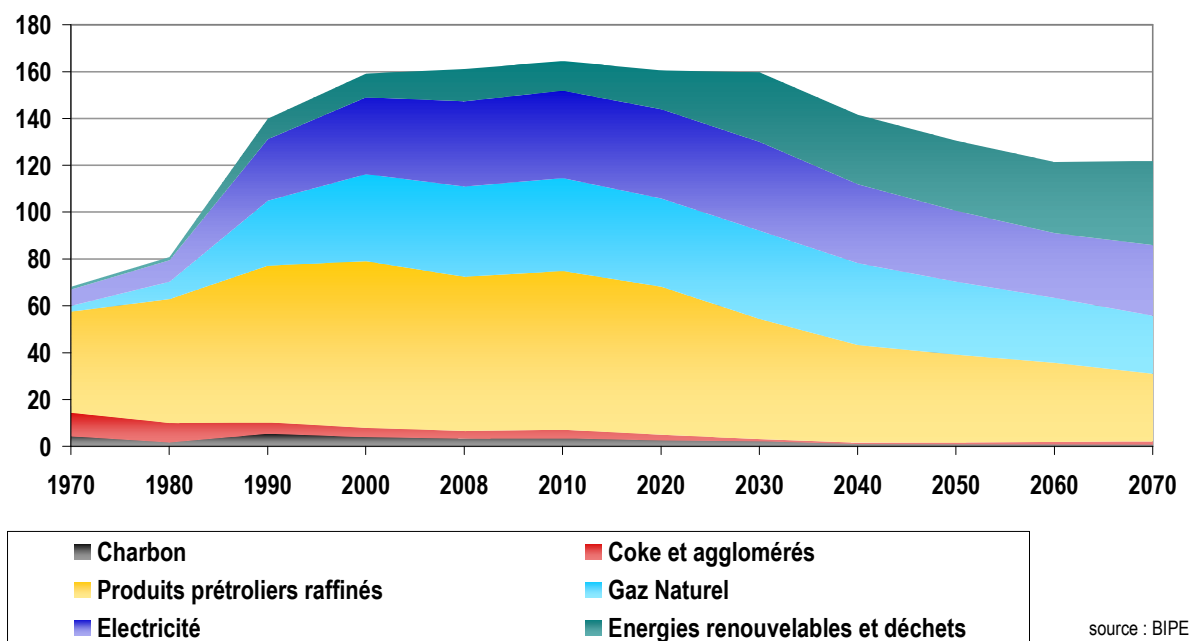
source : BIPE

Structure de la consommation finale d'énergie par grands secteurs en Mtep



source : BIPE

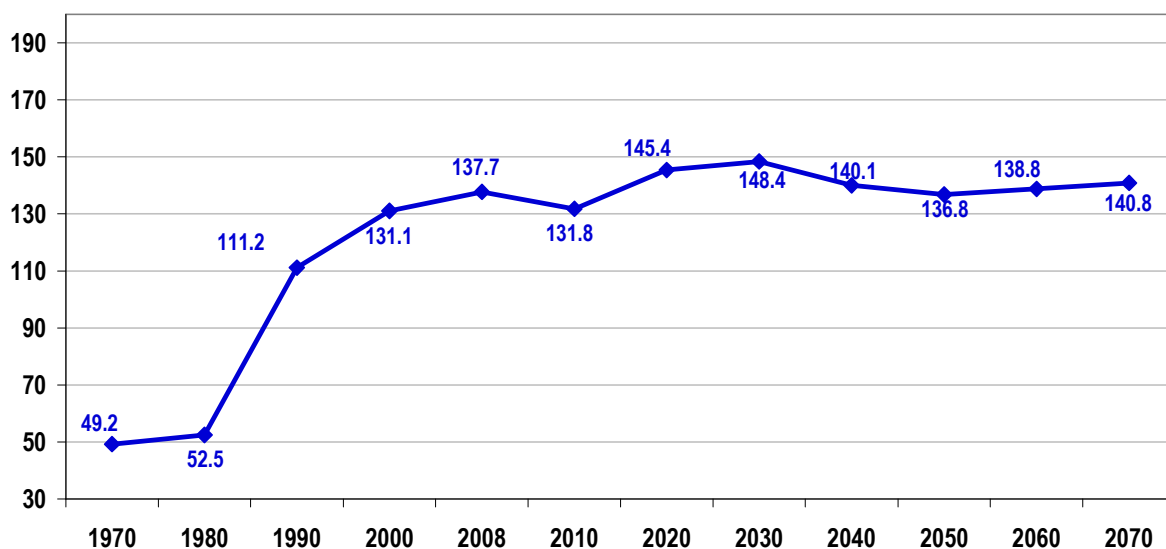
Evolution du mix énergétique dans l'ensemble de l'économie en Mtep



A partir de cette structure de consommation, le BIPE a estimé la production d'énergie primaire ainsi que la répartition des différentes énergies au sein du mix suivant l'approche décrite en tête de chapitre.

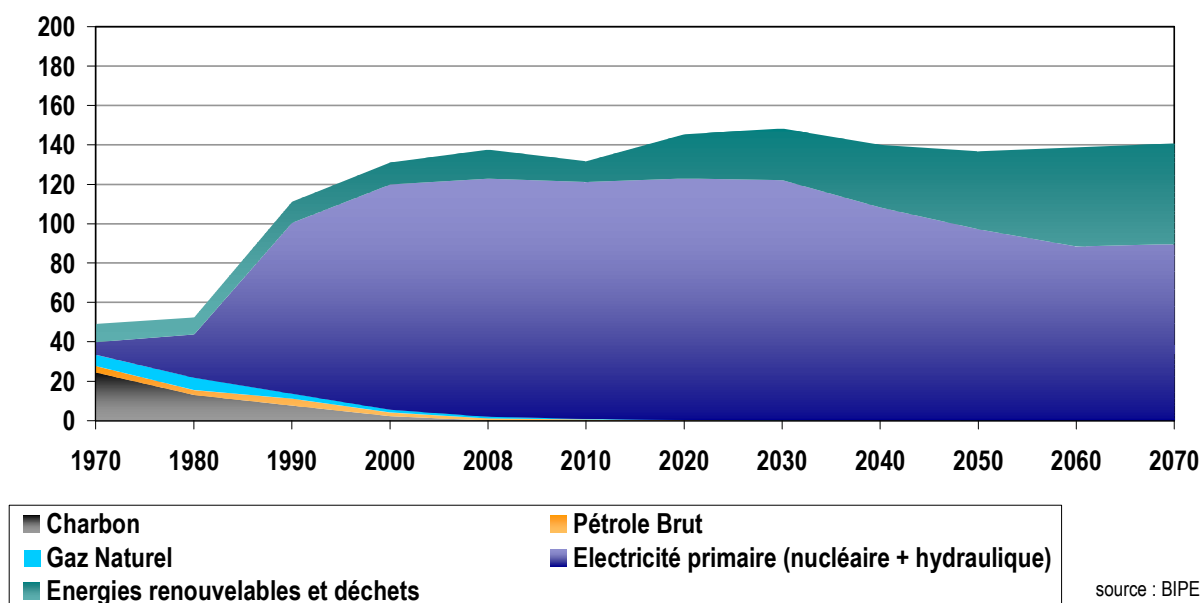
Les résultats de cette modélisation sont présentés ci-après :

Evolution de la production d'énergie primaire en Mtep



source : BIPE

Evolution du mix énergétique de la production d'énergie primaire en Mtep



La production d'énergie primaire en France devrait connaître deux phases :

- Jusqu'en 2030, le rythme de croissance de la production sera de l'ordre de 0,6% par an;
- De 2030 à 2070 l'accélération de la prise de conscience de la fragilité des ressources énergétiques, les améliorations technologiques, leur taux de pénétration dans les secteurs, mais surtout les modifications de comportement vont entraîner une baisse des consommations globales d'énergie, la production étant calée sur cette tendance.

La production d'électricité restera largement majoritaire au sein du mix énergétique mais sa part en 2070 sera en retrait par rapport à celle de 2010 en raison du taux de pénétration plus important des énergies renouvelable et de la valorisation énergétique des déchets.

Le surplus de production d'électricité non consommé sera exporté.

5. LES PRESSIONS LIEES A L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

5.1. PRESENTATION DU CHAMP AEP

Le champ AEP couvre l'ensemble des prélèvements et des consommations réalisés par les collectivités locales pour l'approvisionnement en eau potable des ménages et des activités de production assimilées domestiques (APAD), aussi appelés « gros consommateurs ». Ces activités assimilées correspondent aux commerces, activités tertiaires (immeubles de bureaux, services), et aux activités de production de type industriel (artisans : travail des métaux, mécanique, ...) intégrées dans le tissu urbain. Les consommations de ces acteurs économiques représentent des quantités individuelles faibles, en dessous du seuil qui les ferait passer dans la catégorie « industries » (le seuil varie d'une Agence de l'eau à l'autre).

5.2. LES QUANTITES D'EAU PRELEVEES POUR LES USAGES AEP

5.2.1. REPARTITION PAR SECTEUR

Les services AEP desservent à hauteur de 80-85% les ménages et à hauteur de 15-20% des activités économiques présentes sur leur territoire. Il s'agit des clients qui n'effectuent pas, a priori, de prélèvement en eau par leurs propres moyens et achètent leur eau (qu'elle ait un usage de type domestique ou de production) uniquement au réseau d'eau potable.

Ce ratio correspond à une estimation établie sur la base de la différence entre :

- Le total des consommations d'eau AEP ;
- L'évaluation des consommations des ménages ; cette évaluation est réalisée sur la base de la multiplication des moyennes de consommations par type de ménages avec le nombre de ménages de chaque type.

Selon les statistiques fournies par l'enquête du SOeS, les « gros consommateurs » sont responsables de 88 % des volumes d'eau potable facturés en 2004.

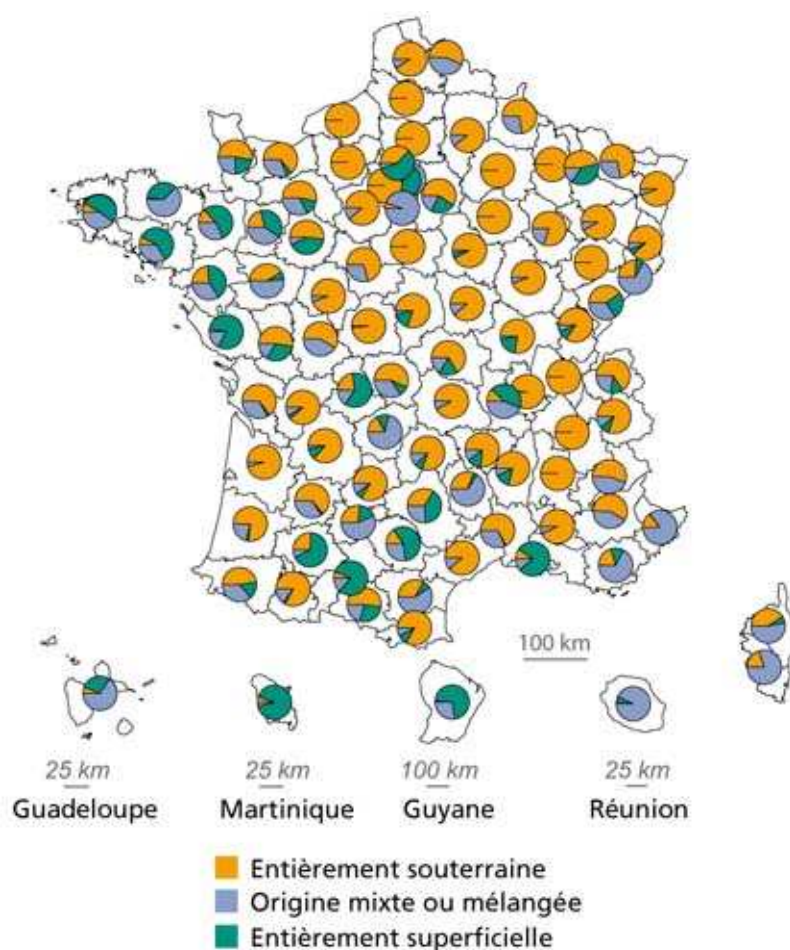
5.2.2. SOURCES DE PRELEVEMENTS

L'eau prélevée dans le milieu naturel pour la production d'eau potable provient à 38 % des **eaux de surface**, ce qui a représenté un total de 2 227 millions de m³ en 2006.

L'eau prélevée dans le milieu naturel pour la production d'eau potable provient à 62 % des **nappes souterraines**, pour un total de 3 363 millions de m³ en 2006.²²

Les sources de prélèvements d'eau sont très variables d'un département à l'autre, comme le montre la carte ci-dessous :

Répartition des communes selon l'origine de l'eau en 2004



Source : Ifen-Scees, Enquête Eau 2004 - ministère chargé de la Santé - Ddass, SISE-eaux.

5.3. RETROSPECTIVE SUR LES PRELEVEMENTS AEP (1955-2006)

Sur une longue période, les prélèvements AEP sont passés d'environ 2 milliards de m³ en 1955 à 5,8 milliards de m³ en 2007²³, soit une augmentation de + 2 % par an en moyenne sur

²² Agences de l'eau, SoeS (cf. Etudes et documents n°33, p. 10)

²³ *Ibid.*

52 ans.

En fait, on peut distinguer 2 périodes d'évolution de l'AEP :

- Une période de croissance de 1955 jusqu'à la fin des années 80 ;
- Une période de quasi-stabilité qui a démarré dans le début des années 90 et qui se prolonge jusqu'en 2004. Sur certaines collectivités, parfois de très grande taille, des tendances à la baisse, depuis une quinzaine d'années, ont toutefois été observées. Il semble que ces évolutions soient principalement dues à la diminution et aux changements, dans la structure des activités, de production insérées dans le tissu urbain (et des services par l'AEP), ainsi que l'optimisation des consommations d'eau dans le commerce et les activités tertiaires.

Depuis quelques années on observe toutefois, à l'échelle globale (France entière), une baisse des consommations, puisque les volumes d'eau facturés « domestiques et gros consommateurs » sont passés de 4,3 milliards de m³ d'eau en 2004 à 4,1 milliards de m³ en 2008, soit une baisse de 1 % par an en moyenne sur ces 4 années.

5.4. LES RATIOS CLES DE PRELEVEMENTS ET DE CONSOMMATION

L'approche sur l'AEP a consisté à considérer d'abord les besoins en eau par les ménages (consommation d'eau) qui représentent les volumes d'eau livrés au consommateur final. Puis à partir de ces consommations et de ratios techniques, les évolutions des prélèvements ont été extrapolées à long terme jusqu'à l'année 2070.

Le ratio de consommation d'eau considéré est de 75 % des prélèvements. C'est-à-dire que, sur 100% d'eau livré au consommateur final, 25% est restitué au milieu et 75% est effectivement consommé ou n'est pas restitué au milieu (fuites du réseau sans restitution au milieu ou avec une restitution non chiffrable : évaporation ...). Parmi les 75 % d'eau consommé, une partie est envoyée en Station d'épuration (eau sanitaires, douches ...).

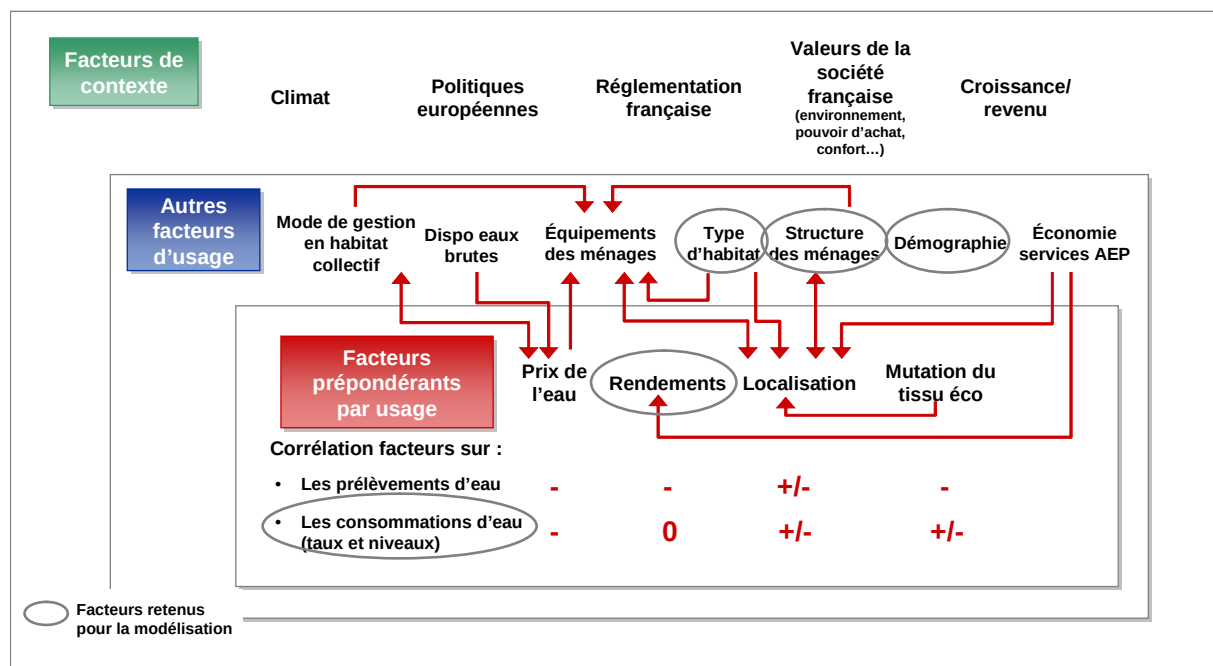
5.5. LE SOUS-SYSTEME DE L'AEP

Le sous-système AEP présenté ci-dessous met en relation les différents facteurs clés entre eux, avec les variables analysées (prélèvements et consommation d'eau).

Le « sous-système AEP » s'appuie sur :

- L'identification des facteurs-clés qui agissent sur l'évolution des prélèvements et des consommations ;
- La mise en relation des facteurs entre eux et de leurs corrélations.

Le sous-système AEP



Source : BIPE 2011 d'après étude AESN 2005

Pour le projet Explore 2070, on retient une sélection de 6 facteurs-clés sur la base suivante :

- ▶ Ne sont retenus que les facteurs les plus importants ;
- ▶ Certains facteurs sont difficilement quantifiables à long terme ;
- ▶ Dans certains cas, la corrélation existe mais l'élasticité facteur-prélèvement est faible (c'est par exemple le cas du prix de l'eau et du niveau de consommation de l'eau).

Les facteurs clés retenus pour la modélisation, entourés dans le graphique, sont :

1. Les niveaux de consommation par habitant ;
2. La démographie ;
3. La structure des ménages ;

4. Le type d'habitat ;
5. Les taux de consommation d'eau (% des quantités distribuées) : par différence, on obtient le pourcentage d'eau qui retourne au milieu ;
6. Le rendement des réseaux.

Les facteurs retenus pour la modélisation

	Facteurs	Corrélation facteur /prélèvement	Commentaires	Évolution 2010-2070
Consommation d'eau	Démographie	++++	L'alimentation en eau potable est destinée à 80-85 % aux besoins de la population	Croissance démographique soutenue, (façade atlantique, méditerranée)
	Structure des ménages	+++	Non proportionnalité entre consommation et taille des ménages (facteur compris entre 1 et 2,8)	Augmentation du nombre de ménages « solos » et « couples sans enfants »
	Type d'habitat	++	Plus de consommations d'eau en habitat individuel (facteur compris entre 1 et 1,5)	Voir scénario « étalement » et scénario « concentration »
	Consommation par habitant	+++	En diminution graduelle (asymptote à partir de 2040)	Habitat collectif -0,3%/an Habitat individuel - 0,6 %/an
Prélèvements	Consommation / prélèvement	+++	Stable à long terme (ratio à chercher)	0% / an
	Taux de rendement primaire des réseaux	+++	Le taux de rendement primaire va conditionner les niveaux de prélèvement	+ 0.1%/an à + 0,3%/an

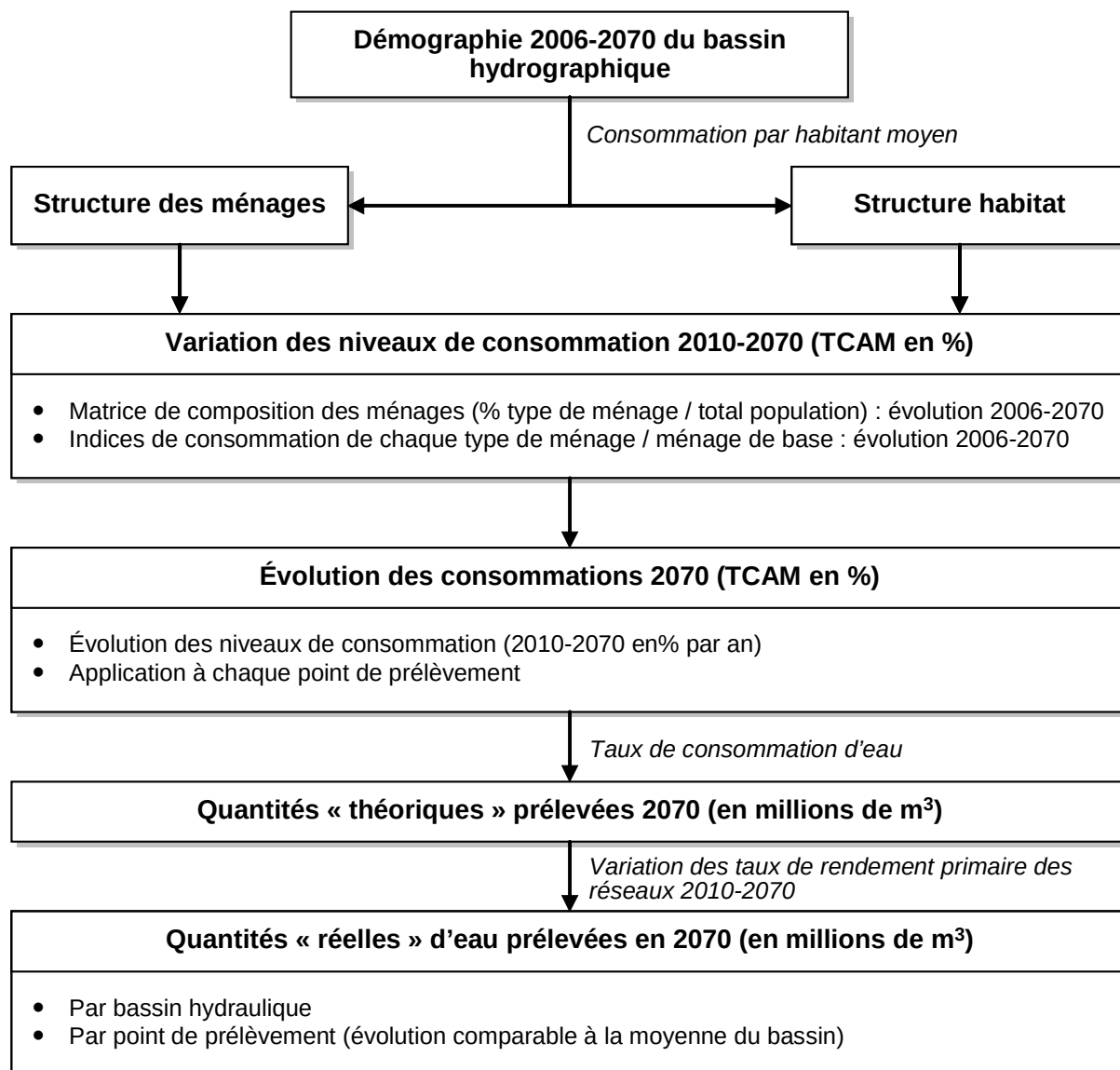
Source : BIPE 2011

Le tableau ci-dessus fait la synthèse des différents facteurs retenus pour la modélisation et présente leurs corrélations avec les niveaux de prélèvements. Les valeurs des évolutions 2010-2070 indiquées ci-dessus proviennent des résultats de l'analyse rétrospective, de la bibliographie et des entretiens auprès des experts rencontrés dans le cadre de cette étude.

Considérant que les volumes de prélèvements indiqués dans la base de données pour l'année 2006 constituent des données solides et fiables (car issues de comptages, d'une part, et parce que les maîtres d'ouvrages paient des redevances prélèvements donc ont intérêt à bien suivre leurs niveaux de prélèvements), il a été décidé de ne recalculer aucune valeur absolue de prélèvement pour cette année de référence. Les projections sont réalisées uniquement sur la base des évolutions, exprimées en taux de croissance annuel moyen (TCAM, en %) de chacun de facteurs indiqués ci-dessus.

5.6. LA METHODOLOGIE DE PROJECTION DES PRELEVEMENTS ET CONSOMMATION LIEES A L'AEP

Principes de calcul des projections des consommations et prélèvements d'eau 2006-2070



Source : BIPE 2011

Pour réaliser les projections en matière de prélèvements et de consommations pour l'Approvisionnement en Eau Potable, une approche « bottom up » a été employée. L'ensemble des 28 000 points de prélèvements AEP répartis sur toute la France métropolitaine ont été pris en compte et regroupés par bassin versant.

Les hypothèses sur les variables établies pour un bassin versant sont communes pour tous les points de prélèvement du bassin. Au total, le BIPE a mis en œuvre :

- Un jeu de 99 hypothèses de variations à long terme (TCAM 2006-2070) avec des pas de temps tous les 10 ans, pour un total de 6 (familles de) facteurs ;
- 5 facteurs de contexte influençant les consommations d'eau.

Les projections font l'hypothèse que les mêmes variations des prélèvements et consommations s'appliqueront à long terme pour les prélèvements en eaux superficielles et en eaux souterraines d'un même bassin.

Par contre, les transferts d'eau depuis leur point de prélèvement dans un bassin pour une distribution dans un autre bassin versant ne sont pas pris en compte, sauf dans le cas de Paris. Dans la région parisienne, les prélèvements d'eau effectués en dehors de Paris mais qui alimentent le réseau AEP de la capitale seront pris en compte dans une version ultérieure.

5.6.1. LES PRINCIPES DE LA MODELISATION

Dans le cadre de la modélisation, le BIPE a utilisé la base de données du SOeS du MEDDTL qui recense l'ensemble des points de prélèvements AEP de France.

Les quantités prélevées, pour l'année n, au point de prélèvement constituent les données de base :

- Ici l'année n = 2006, dernière année pour laquelle les données sont fiables sur l'ensemble de la France :
 - Il n'y a pas de retraitement des données de prélèvements. Celles-ci sont considérées comme des données « solides » ; ces données constituent l'indicateur clé de la pression sur l'eau ;
- Le niveau moyen de consommation, en valeur absolue, exprimé par ménage ou par habitant n'est pas recalculé (trop sujet à caution et à variation) ;
- Les projections à l'horizon 2070 sont directement effectuées sur les prélèvements consolidés à l'échelle de chaque bassin versant :
 - L'évolution des prélèvements est tirée par :
 - L'évolution sociodémographique : population, structure des ménages et types de logement (individuels ou collectifs) ;
 - L'évolution socio-économique intègre directement le facteur évolution des consommations des ménages (baisse tendancielle) ;
 - Le progrès technique (amélioration des rendements primaires) ;
 - L'évolution des activités desservies par les réseaux AEP (les Activités

- de Production Assimilées Domestiques ou APAD) ;
- o Les calculs sont effectués sur la base de variations exprimées par des Taux de Croissance Annuels Moyens (TCAM en %).

In fine, la modélisation a fait varier dans le temps les 6 facteurs-clés qui ont un impact sur la consommation d'eau, ce qui a permis d'aboutir à une projection chiffrée des prélèvements en eau sur chacun des bassins versants analysés.

Les variations appliquées à chacun des facteurs-clés sont soit communes à l'ensemble des bassins versants, auquel cas leur application est effectuée à l'échelle nationale, soit spécifique au bassin versant. Concernant les facteurs clés d'influence commune, il s'agit de facteurs pas ou peu influencés par les spécificités locales. Deux facteurs-clés entrent dans cette famille : **l'évolution de la quantité d'eau consommée** par personne et par ménage, et l'évolution des quantités d'eau consommées **selon le type d'habitat**. Ces deux facteurs sont présentés dans les tableaux présentés en partie 3.6.2. Un troisième facteur clé est le **taux de consommation d'eau par rapport aux prélèvements**.

Pour les autres facteurs-clés, dits spécifiques, les variations ont été appliquées à l'échelle du bassin versant lui-même : c'est le cas des **rendements des réseaux**, qui varient d'un bassin versant à l'autre et sont donc susceptibles de s'améliorer à des vitesses différentes (plus le rendement du réseau est faible, et plus a priori son potentiel d'amélioration est élevé).

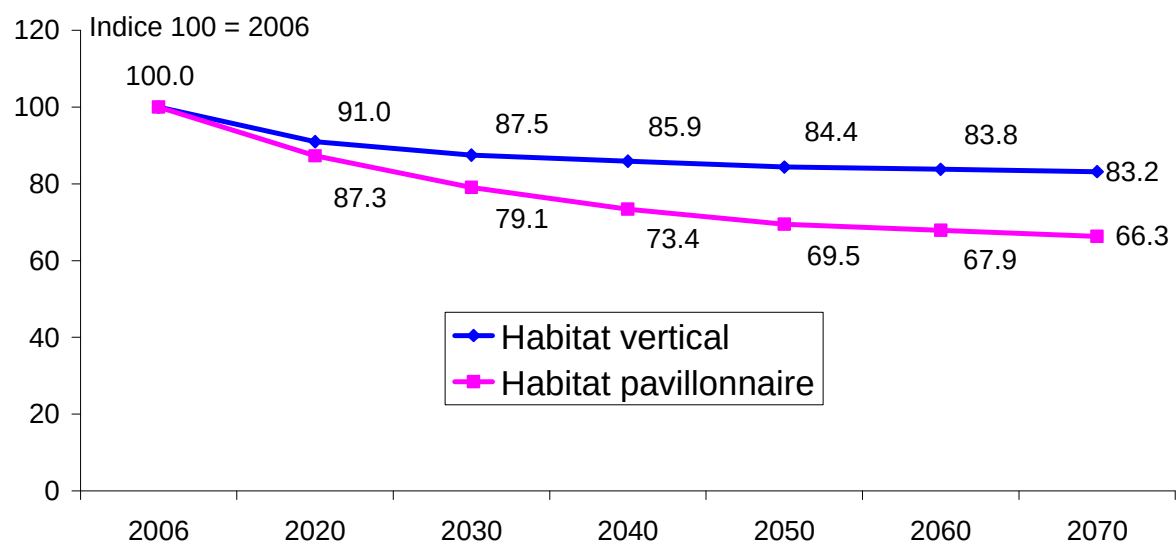
La **composition des ménages** (structure) est l'autre facteur-clé dont l'évolution est adaptée à la localisation du bassin versant. Pour chaque bassin versant, le BIPE a fait varier la structure des ménages à l'horizon 2070, en considérant que ces évolutions sont spécifiques et qu'elles contrastent directement les résultats des consommations d'eau à long terme. Enfin, l'évolution de la **démographie** a été différenciée de manière précise pour chacun des bassins versants : c'est également un facteur-clé auquel est très fortement corrélée la consommation d'eau.

5.6.2. LES HYPOTHESES RETENUES

A long terme (60 ans), les consommations d'eau par les ménages devraient continuer de décroître à un rythme différencié selon le type d'habitat : de -0.4 % par an pour l'habitat vertical à -0.8 % par an en moyenne sur la période 2006-2070, avec un ralentissement progressif de la décroissance à partir 2020. C'est d'abord là où les consommations d'eau sont les plus importantes que les (économies potentielles) réductions seront également les plus fortes, - c'est-à-dire en habitat pavillonnaire - avec l'amélioration des comportements en

matière d'utilisation de l'eau (arrosage jardin, nettoyage voitures ...) voire l'utilisation de ressources alternatives (eau de récupération, puits ...) pour l'approvisionnement en eau.

Évolution de la consommation d'eau par ménage 2010-2070



Source : BIPE 2011

Au total, à l'horizon 2070, sur une base de référence 100 pour l'année 2010, les consommations d'eau par les ménages seront de 83 pour l'habitat vertical et de 66 pour l'habitat pavillonnaire, soit une réduction de consommation en eau de 17 % dans le premier cas et de 34 % dans le deuxième cas sur la période.

Les ménages ont été regroupés en 5 types différents selon leur composition. A chaque type de ménage, correspond un niveau moyen de consommation (spécifique), qui est donné dans le tableau ci-dessous et dont la valeur est donnée à titre indicatif (ce sont les consommations par type de ménage qui sont utiles pour le calcul des projections).

Les hypothèses sur les consommations selon la structure des ménages (2006)

Type de ménages	Type d'habitat		m ³ an par ménage
	Habitat vertical	Habitat individuel	
« Solos » hors	55	55	
« Couples sans enfants »	95	146	
« Monoparentaux	119	145	
« Ménages complexes *	115	135	
« Couples avec enfants	168	214	

* Des ménages sont qualifiés de complexes dans la mesure où le type de lien (lien de parenté, liens amicaux, etc.) peut être très variable entre les personnes qui les composent. Ils comportent notamment les ménages au sein desquels cohabitent plusieurs générations, ainsi que les personnes vivant en colocation, mais il est difficile de mettre en évidence une configuration type de ces ménages.

Source : BIPE d'après enquêtes 2009

Les valeurs de consommation d'eau par ménage indiquées ci-dessus proviennent d'une enquête réalisée par le BIPE auprès d'un panel de ménages (document interne BIPE 2008). Puis pour chacun des niveaux de consommation d'eau présenté dans ce tableau on applique les évolutions à l'horizon 2070 présentées plus avant (-0.3 %/an à -0.6%/an en moyenne sur les 60 prochaines années). Et l'on obtient les valeurs présentées au tableau ci-dessous.

Les hypothèses sur les consommations selon la structure des ménages (2070)

Type de ménages	m ³ an par ménage	
	Type d'habitat	
	Habitat vertical	Habitat individuel
« Solos » hors	45	37
« Couples sans enfants »	78	99
« Monoparentaux	99	99
« Ménages complexes	95	92
« Couples avec enfants	139	146

* Des ménages sont qualifiés de complexes dans la mesure où le type de lien (lien de parenté, liens amicaux, etc.) peut être très variable entre les personnes qui les composent. Ils comportent notamment les ménages au sein desquels cohabitent plusieurs générations, ainsi que les personnes vivant en colocation, mais il est difficile de mettre en évidence une configuration type de ces ménages.

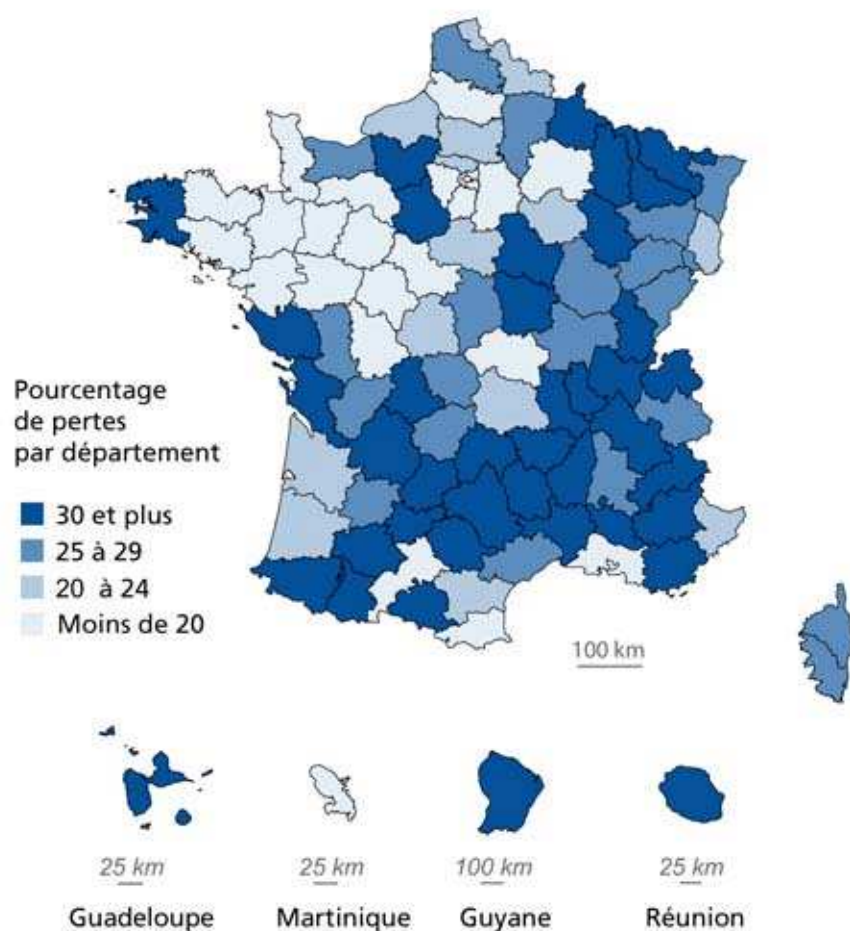
Source : BIPE d'après enquêtes 2009

Ces nouvelles valeurs sont ensuite multipliées par la structure des ménages telle qu'elle se présente dans chacun des bassins versant en 2010, et telle qu'elle est anticipée à l'horizon 2070. La combinaison de ces deux facteurs clés permet d'obtenir, pour chacun des bassins versant, une évolution des consommations d'eau qui lui est spécifique à l'horizon 2070.

Pour calculer les évolutions des niveaux de prélèvements à l'horizon 2070, il a été considéré que ces évolutions suivaient directement celles des consommations à long terme, mais que le besoin de prélèvement était toutefois réduit grâce à l'amélioration des rendements des réseaux sur la même période de projection. Ainsi, des projections d'amélioration des rendements ont été réalisées sur la base des entretiens auprès des experts rencontrés et de l'analyse bibliographique (rétrospective).

Selon les niveaux actuels de rendement par département (voir carte ci-dessous), les niveaux de performance et les potentiels d'amélioration sont très différents. Cette carte indique, pour chaque département, le niveau de pertes sur les réseaux (qui par différence donne le niveau de rendement) selon 4 groupes : pertes de moins de 20%, pertes de 20% à 24%, pertes de 24% à 30% et pertes de 30% à plus. Ce qui, en contrepoint, donne des rendements compris respectivement entre 80 et 100%, entre 76 et 80%, entre 70 et 76% et des rendements de moins de 70%.

Pourcentage des volumes perdus par département



Source : Ifen-Scees, Enquête Eau 2004

Nous faisons l'hypothèse qu'il y aura à l'avenir des vitesses de croissance différentes selon les niveaux de références : plus un niveau de rendement est faible et plus sa progression à long terme sera élevée, et vice-versa. Etant entendu qu'un certain seuil de rendement ne peut, en pratique, être dépassé selon les situations (milieu rural, urbain), cette valeur de seuil ne sera pas dépassée à l'issue de la projection : c'est-à-dire un taux maximum de 80% en milieu rural et un taux maximum de 90% en milieu urbain (nous considérerons que les 10 derniers pourcent sont trop chers à atteindre). Mais les projections n'ont pas été effectuées de manière à se caler par rapport à ces valeurs de seuils, qui servent uniquement de repères, mais par rapport à des vitesses d'évolution annuelles des performances.

La correspondance géographique entre les départements et les bassins versants n'existe pas car les critères de regroupements des communes sont différents dans les deux cas. Pour autant, afin d'estimer un niveau de rendement moyen à l'échelle de chaque bassin versant, le BIPE a considéré qu'il fallait retenir le niveau moyen du département dont les communes sont les plus nombreuses dans ce même bassin versant. Au final, nous obtenons un taux de

rendement par bassin au final.

De manière arbitraire, le BIPE a retenu des valeurs uniques théoriques qui correspondent aux valeurs moyennes dans les fourchettes indiquées pour les niveaux compris entre 70 et 75 % (soit 72,5%) et 75 à 80% (soit 77,5%) et une valeur de 85 % pour les niveaux supérieurs à 80%. En milieu rural, les rendements peuvent être très bas (40 % voire moins) ; la valeur moyenne retenue pour les départements qui présentent un rendement primaire inférieur à 70% est fixée à 60%, ce qui peut paraître optimiste mais correspond en fait à une moyenne pondérée sur l'ensemble du département.

Retenons que l'important n'est pas de connaître ou d'estimer précisément les niveaux de rendement dans chaque bassin versant pour l'année n, mais d'appliquer à chaque bassin versant une évolution des taux de rendement qui, couplée à une évolution des niveaux de consommation et multipliée au niveau de prélèvement 2006, permettent d'estimer les prélèvements d'eau à l'horizon 2070.

Le rendement des réseaux est probablement le domaine dans lequel le potentiel d'économie de prélèvement d'eau pour la production et la distribution d'eau potable est le plus important. C'est aussi un sujet éminemment complexe. En effet, les efforts et les résultats en matière d'amélioration des performances de rendement dépendent de nombreux facteurs, qui obligent le plus souvent à effectuer des approches au niveau local : prix de l'eau (on sera d'autant plus enclin à tolérer un niveau de perte élevé que l'eau aura coûté cher à produire), modèle de récupération des coûts et d'amortissement des investissements, organisation du service des eaux (un syndicat de grande taille sera mieux armé pour faire face à ce problème), disponibilité de l'eau (le rendement peut être inversement proportionnel à la disponibilité en eau), état initial du réseau (longueur, âge ...), rapport coût/efficacité des mesures qui sont (pourraient) être mises en place etc.

Deux principaux facteurs vont inciter les collectivités locales à améliorer les rendements de leurs réseaux de distribution d'eau :

- **Les variations climatiques**, notamment les périodes de sécheresse qui font prendre conscience de la rareté de l'eau ;
- **La réglementation** qui se renforce sur le sujet précis des rendements des réseaux.

Notons que pour le premier point on se réfère à la volatilité climatique naturelle, et non à l'impact du changement climatique, qui sera plus soutenu encore, puisqu'il s'agit ici de chiffrer les besoins en eau dans le scénario à stabilité climatique.

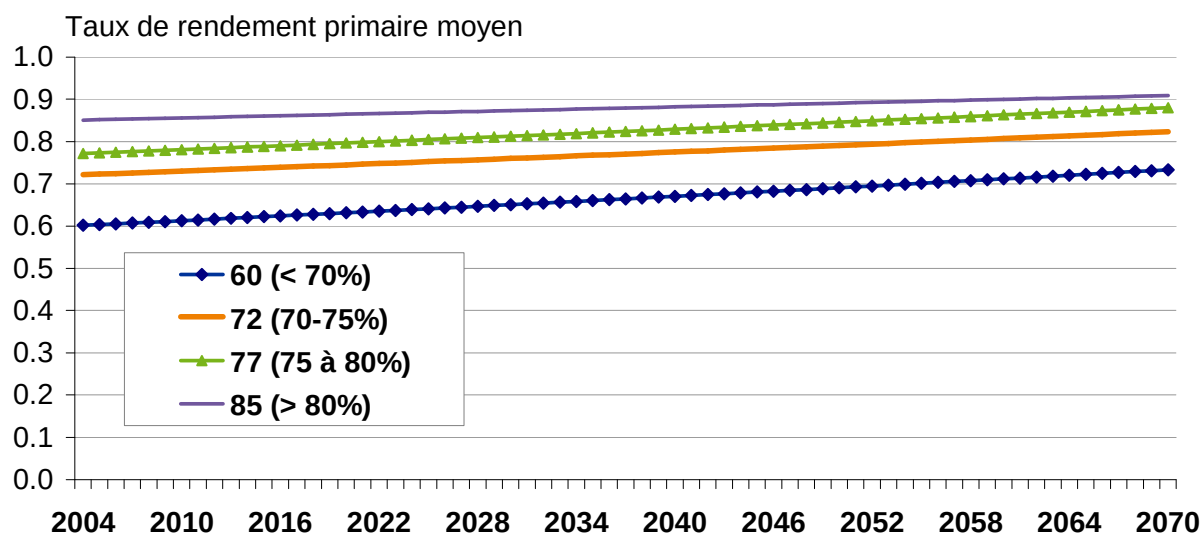
L'article 161 de la loi de Grenelle II impose aux communes de réparer les fuites du réseau d'eau potable à partir d'un certain seuil, faute de quoi le taux de la redevance pour l'usage "alimentation en eau potable" qu'elle doit à l'Agence de l'eau sera doublée. L'indicateur pertinent de performance de rendement des réseaux (ou de fuite d'eau) n'est pas encore décidé et son niveau non plus. Le décret d'application qui doit fixer la nature de l'indicateur et les seuils correspondants (rendement primaire ou Indice Linéaire de Perte – ILP - ou pertes par abonné) n'est pas encore paru. En tout état de cause, les collectivités locales qui présentent des mauvaises performances devront présenter un programme de travaux pour améliorer la situation.

La répartition des départements selon les niveaux de pertes du réseau AEP en 2004 (et donc des niveaux de rendement)

Pertes 2004	30 et plus	25% à 29%	20 % à 24 %	Moins de 20 %
Rendement 2004	moins de 70 %	de 70 à 75 %	de 75 à 80 %	Plus de 80 %
	01 Ain	02 Aisne	06 Alpes-Maritimes	03 Allier
	04 Alpes-de-Haute- Provence	14 Calvados	10 Aube	13 Bouches-du-Rhône
	05 Hautes-Alpes	16 Charente	11 Aude	22 Côtes-d'Armor
	07 Ardèche	18 Cher	33 Gironde	31 Haute-Garonne
	08 Ardennes	19 Corrèze	36 Indre	35 Ille-et-Vilaine
	09 Ariège	2A Corse-du-Sud	45 Loiret	37 Indre-et-Loire
	12 Aveyron	2B Haute-Corse	59 Nord	40 Landes
	15 Cantal	21 Côte-d'Or	60 Oise	41 Loir-et-Cher
	17 Charente-Maritime	23 Creuse	63 Puy-de-Dôme	44 Loire-Atlantique
	24 Dordogne	25 Doubs	68 Haut-Rhin	49 Maine-et-Loire
	27 Eure	26 Drôme	76 Seine-Maritime	50 Manche
	28 Eure-et-Loir	29 Finistère	95 Val-d'Oise	51 Marne
	30 Gard	34 Hérault		53 Mayenne
	32 Gers	47 Lot-et-Garonne		56 Morbihan
	38 Isère	62 Pas-de-Calais		61 Orne
	39 Jura	67 Bas-Rhin		66 Pyrénées-Orientales
	42 Loire	70 Haute-Saône		72 Sarthe
	43 Haute-Loire	71 Saône-et-Loire		75 Paris
	46 Lot	73 Savoie		77 Seine-et-Marne
	48 Lozère	79 Deux-Sèvres		78 Yvelines
	52 Haute-Marne	88 Vosges		80 Somme
	54 Meurthe-et-Moselle	90 Territoire de Belfort		86 Vienne
	55 Meuse			91 Essonne
	57 Moselle			92 Hauts-de-Seine
	58 Nièvre			93 Seine-Saint-Denis
	64 Pyrénées-Atlantiques			94 Val-de-Marne
	65 Hautes-Pyrénées			
	69 Rhône			
	74 Haute-Savoie			
	81 Tarn			
	82 Tarn-et-Garonne			
	83 Var			
	84 Vaucluse			
	85 Vendée			
	87 Haute-Vienne			
	89 Yonne			

Source : BIPE 2011

Évolution des taux de rendement primaire 2004-2070 selon les performances initiales



Source : BIPE 2011

Les progressions des rendements des réseaux AEP sont données ci-dessus selon leur niveau de départ. Les progressions de rendements sont modulées en fonction de la performance initiale :

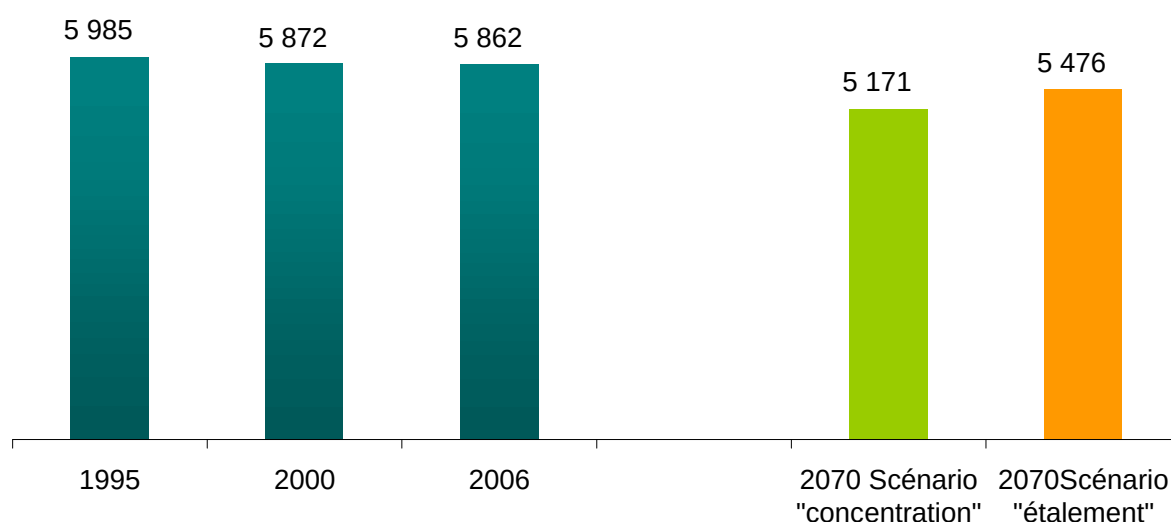
- Rendement 2004 < 70 % : progression annuelle du taux de rendement de +0,3% par an entre 2004 et 2070 ;
- Rendement 2004 compris entre 70% et 80% : progression annuelle de rendement de +0,2% par an ;
- Rendement 2004 > 80% : progression annuelle de rendement de + 0,1% par an.

5.7. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070

La combinaison des différentes hypothèses énoncées ci-dessus avec les évolutions démographiques et les deux variantes d'implantation de l'habitat aboutit à un niveau de prélèvement d'eau potable de 5 171 millions de m³ pour le scénario « concentration » et de 5 476 millions de m³ pour le scénario « étalement ».

Évolution à long terme des volumes d'eau prélevés pour l'eau potable

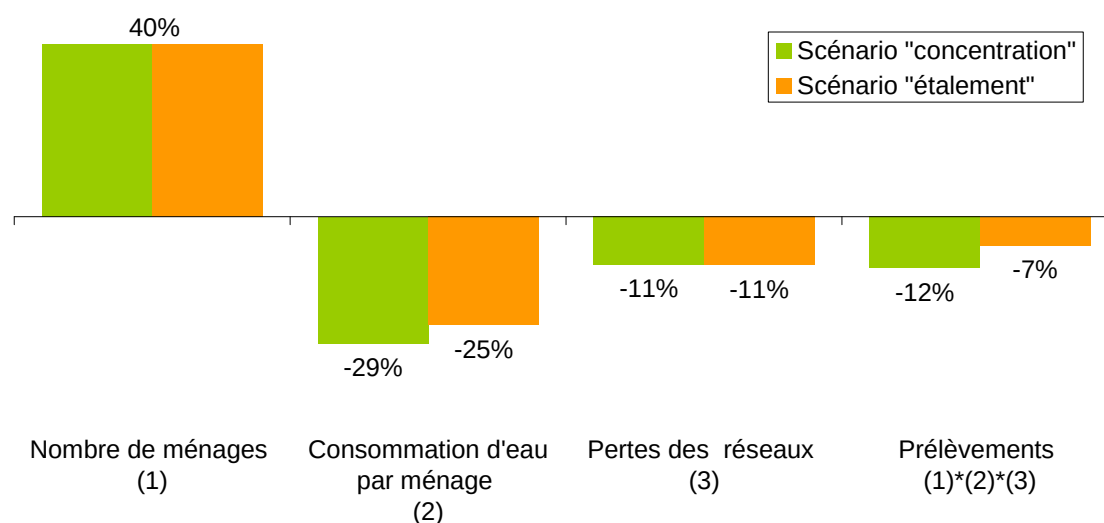
En millions de m³



Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011

Contribution des facteurs explicatifs de la variation des volumes d'eau prélevés pour l'eau potable

En % sur la période 2006-2070

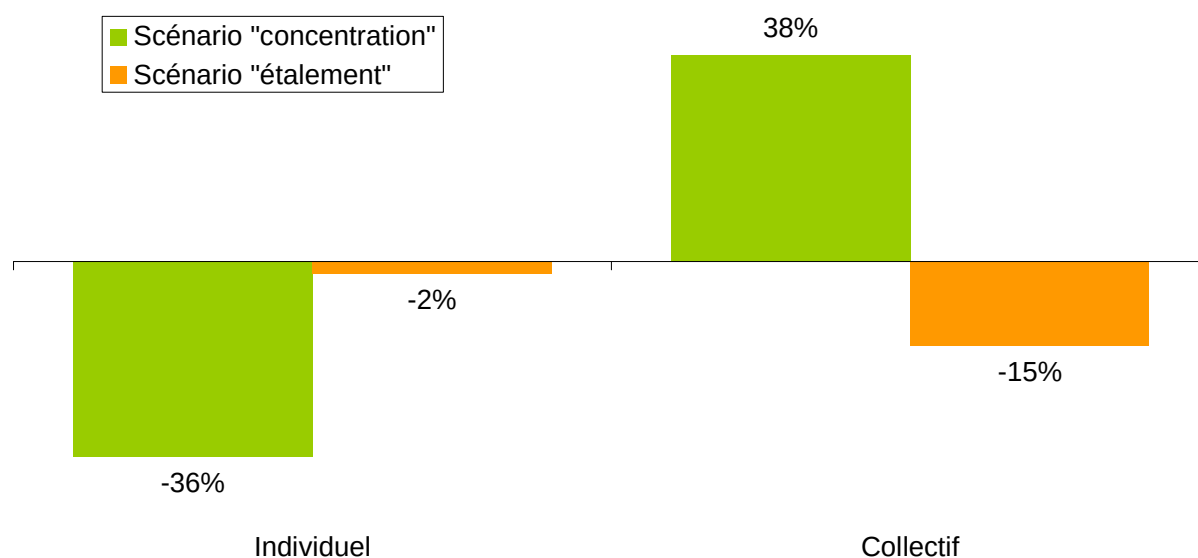


Comme le montre le graphique ci-dessus, au cours de la période 2006-2070, l'évolution des prélèvements d'eau potable est de 40% sous l'effet de la croissance du nombre de ménages. Cette progression est contrebalancée par les économies d'eau réalisées par chaque ménage (effets technologique et comportemental) : -29% dans le scénario « concentration » et -25% dans le scénario « étalement ». A cela s'ajoute l'amélioration du rendement des réseaux, qui s'accompagne d'une baisse de 11% des prélèvements. Au total, au cours de la période, les prélèvements d'eau potable diminuent de 12% dans le scénario « concentration » et de 7% dans le scénario « étalement ».

L'évolution des prélèvements diffèrent selon le type d'habitat. Pour l'habitat individuel, la baisse des prélèvements est de 36% dans le scénario « concentration » et de 2% dans le scénario « étalement ». Quant à l'habitat collectif, les prélèvements sont en hausse de 38% dans le scénario « concentration » et en recul de 15% dans le scénario « étalement ».

Variation des volumes d'eau prélevés pour l'eau potable selon le type de logement et selon les scénarios

En % sur la période 2006-2070



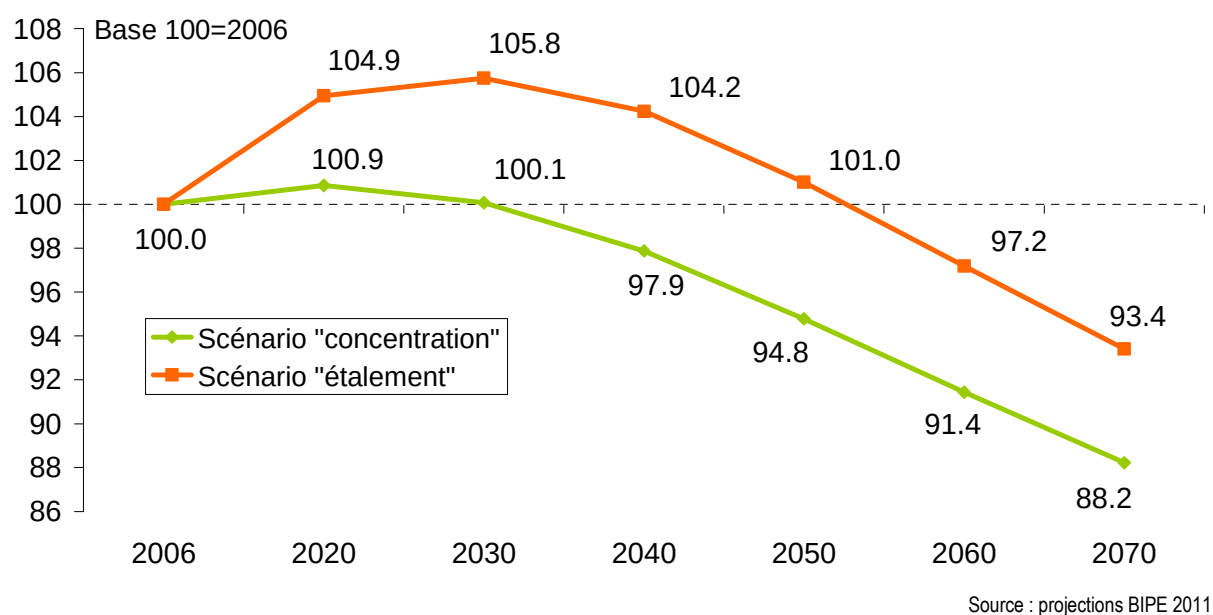
Source : projections BIPE 2011

La baisse des prélèvements d'eau potable est plus rapide dans le scénario « concentration ». Dans le cadre de ce scénario, les prélèvements devraient quasiment stagner jusqu'en 2030, puis baisser rapidement par la suite. Le cheminement est différent pour le scénario « étalement » puisque les prélèvements augmentent jusqu'en 2030, pour revenir aux niveaux de 2006 vers 2050 et passer en dessous après cette date. Ces résultats s'expliquent par un rythme de croissance du nombre de ménages plus rapide entre 2006 et 2030 qu'au cours de la

période 2030-2070, et par la répartition entre habitat collectif et individuel qui diffère selon les deux scénarios.

Evolution des prélèvements d'eau potable

Indice 100 = 2006



Comme le montrent les cartes ci-après, la progression des prélèvements d'eau potable concerne essentiellement les bassins versants situés sur la façade atlantique et la méditerranée, en conformité avec les projections démographiques.

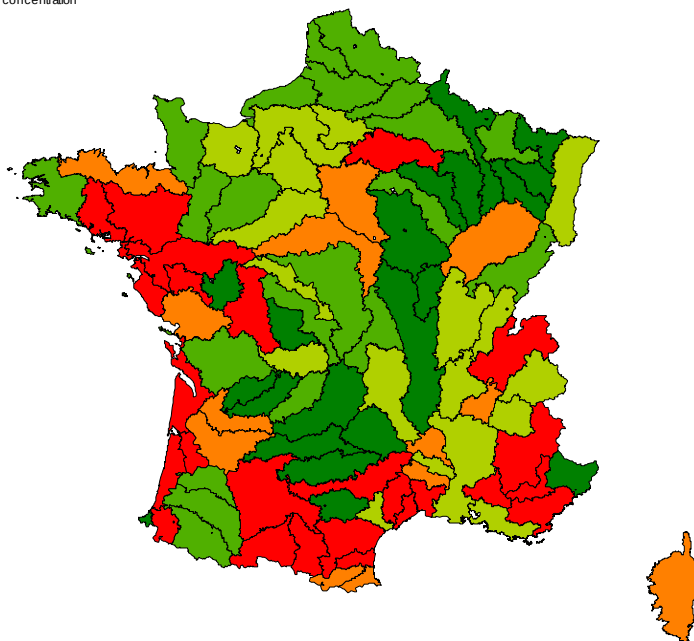
Dans le scénario « concentration », les prélèvements progressent dans les bassins versants suivants : Adour Atlantique, Agly, Ariège, Aude + Berre, Durance Amont, Durance Aval, Garonne Amont, Garonne Moyenne, Gironde, Hérault, Landes, Leyre, Lez, Loire Aval, Marne Aval, Morbihan, Petits côtiers + PACA Est, Rhône Amont, Sèvre nantaise, Tarn, Vendée, Verdon, Vidourle + Vistre et Vilaine. Pour le scénario « étalement », en plus des bassins versants concernés dans le scénario « concentration », il faut ajouter les bassins versants suivants : Ardèche, Corse, La Rochelle, Seine Moyenne, Tech et Vienne Aval.

Les deux cartes qui suivent, présentent l'évolution attendue des prélèvements AEP à horizon 2070 dans les deux scénarios à stabilité climatique.

Variation des volumes d'eau prélevés pour l'eau potable par bassin versant entre 2006 et 2070 - Scénario « concentration »

Evolution des prélèvements d'eau potable par bassin versant
2006-2070 scénario "concentration"

- 0% à 210%
- 10% à 0%
- 20% à -10%
- 35% à -20%
- 65% à -35%

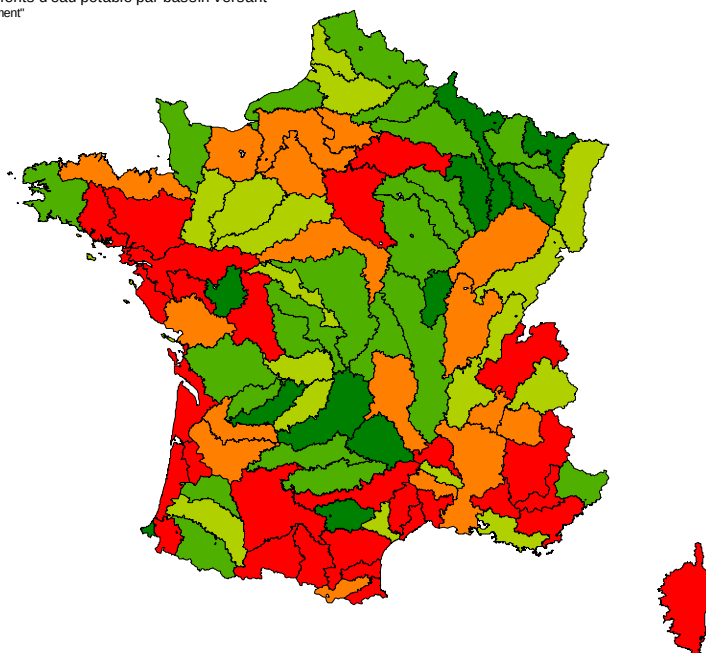


Source : projections BIPE 2011

Variation des volumes d'eau prélevés pour l'eau potable par bassin versant entre 2006 et 2070 - Scénario « étalement »

Evolution des prélèvements d'eau potable par bassin versant
2006-2070 Scénario "étalement"

- 0% à 210%
- 10% à 0%
- 20% à -10%
- 35% à -20%
- 65% à -35%



Source : projections BIPE 2011

6. LES PRESSIONS LIEES A LA PRODUCTION D'ENERGIE

6.1. PRESENTATION DU CHAMP ENERGIE

Le champ Energie est représenté ici par la production d'électricité à partir de centrales nucléaires. Les impacts de la production d'électricité d'origine nucléaire sur les prélèvements et les consommations associées sont détaillés ci-après.

Les impacts de la production d'électricité à partir des centrales thermiques utilisant d'autres combustibles (charbon, fioul, gaz) ainsi que la production d'énergie par les chaufferies municipales (eau chaude et vapeur), par les usines d'incinération et la production de combustibles à partir des raffineries de pétrole sera traitée dans le chapitre Industrie.

6.2. LES QUANTITES D'EAU PRELEVEES POUR LES USAGES LIES A LA PRODUCTION D'ENERGIE

6.2.1. REPARTITION PAR SECTEUR

Les quantités d'eau prélevées pour le refroidissement des centrales nucléaires ont représenté 16 milliards de m³ en 2006. La majeure partie de l'eau employée dans les centrales sert au refroidissement des équipements. Les autres consommations d'eau sont des eaux pour la production de vapeur et les « eaux vannes ». Sur le critère « refroidissement des équipements », on distingue plusieurs types de centrales :

- Les centrales nucléaires qui utilisent l'eau de mer comme vecteur de transfert de chaleur. Ces centrales, au nombre de 5 - dont la centrale du Blayais, située dans l'estuaire de la Garonne - sont de fait, situées en bord de mer. Elles représentent 5,1 millions de m³ d'eau prélevée en 2006 ;
- Les centrales nucléaires qui utilisent de l'eau douce pour le refroidissement. Situées en bord de rivière ou de fleuve, on distingue celles qui mettent en œuvre un circuit de refroidissement ouvert (14,7 milliards de m³ prélevés) et celles qui emploient un circuit de refroidissement fermé (1,6 milliards de m³ prélevées). Les centrales les plus récemment construites disposent d'un circuit fermé. Les centrales les plus anciennes et situées en bord de fleuve à grand débit (Rhône et Rhin) disposent d'un circuit ouvert (hors Cruas). Le tableau suivant présente le parc en 2006 avec les sources de prélèvement, les types de circuit de refroidissement et les volumes correspondants.

Les caractéristiques du parc de centrales nucléaires en France en 2006 (année de référence) et les prélèvements en eau (en millions de m3)

	2002	2003	2004	2005	2006	Ressource principale en eau	source d'eau douce	Moyenne prélèvements 2002-2006	Type de circuit	Capacité de tranche (MW)	nombre de tranches (MW)	Année (moyenne) de construction
Golfech	217 900	221 607	212 710	218 370	217 560	Douce	Garonne	217629	Fermé	1300	2	1991
Belleville-sur-Loire	211 945	232 891	221 138	236 925	207 708	Douce	Loire	222121	Fermé	1300	2	1300
Chinon	171 571	157 158	148 520	187 613	163 497	Douce	Loire	165672	Fermé	900	4	1984
Saint-Laurent-Nouan	102 572	96 577	101 049	94 238	93 165	Douce	Loire	97520	Fermé	900	2	1983
Dampierre-en-Burly	169 738	185 111	188 180	198 158	204 258	Douce	Loire	189089	Fermé	900	4	1980
Chooz	129 857	200 025	200 025	200 026	200 026	Douce	Meuse	185992	Fermé	1500	2	1995
Cattenom	277 516	277 517	241 196	265 368	265 193	Douce	Moselle	265358	Fermé	1300	4	1987
Nogent-sur-Seine	140 450	150 141	137 129	124 769	123 791	Douce	Seine	135256	Fermé	1300	2	1988
Civaux	103 754	103 487	113 246	101 168	108 080	Douce	Vienne	105947	Fermé	1500	2	1997
Blayais	29	24	16	24	24	Mer	hs	23	Ouvert	900	4	1983
Gravelines	1478	1 469	1694	3 617	2 893	mer	hs	2230	Ouvert	900	6	1981
Les Pieux	-	496	412	418	368	Mer	hs	339	Ouvert	1300	2	1986
Neuville-les-Dieppe	-	378	422	409	384	Mer	hs	319	Ouvert	1300	2	1990
Paluel	-	3 780	5 128	1 197	923	Mer	hs	2205	Ouvert	1300	4	1985
Fessenheim	2 199 225	2 700 042	2 193 588	2 391 596	2 030 799	Douce	Rhin	2303050	Ouvert	900	2	1978
Cruas	536 400	536 184	513 158	536 260	510 860	Douce	Rhône	526572	Fermé	900	4	1984
Saint-Vulbas (Bugey)	2 492 635	2 960 994	3 104 058	2 951 157	3 043 745	Douce	Rhône	2910518	2 tranches circuit ouvert et 2 tranches fermé	900	4	1979
Saint Paul Trois Châteaux	5 042 734	5 110 000	5 000 000	5 190 000	5 194 500	Douce	Rhône	5107447	Ouvert	900	4	1980
Saint-Maurice l'Exil	3 873 540	4 003 525	4 081 269	3 865 158	3 589 942	Douce	Rhône	3882687	Ouvert	1300	2	1986
Total	15 671 345	16 941 405	16 462 937	16 566 471	15 957 715							

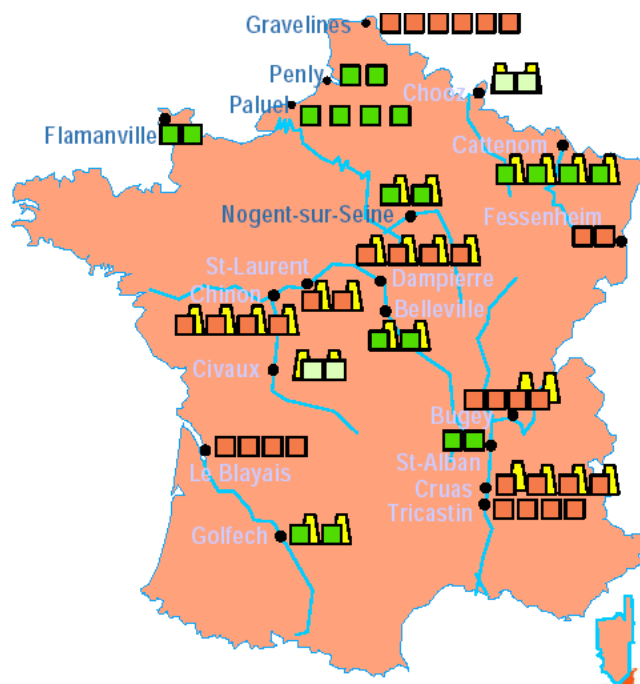
Source : BIPE d'après SOeS, Agences de l'eau, EDF et bibliographie 2011

Le parc de centrales nucléaires et les systèmes de refroidissement

- 19 centrales
- 58 tranches en fonctionnement

Palier	REP 900 MW	REP 1300 MW	REP 1450 MW
			

-  Circuit de refroidissement fermé
-  Circuit de refroidissement ouvert



Source : EDF 2007

6.2.2. SOURCES DE PRELEVEMENTS

Les eaux de surface assurent la quasi-totalité des besoins en eau douce pour le refroidissement des centrales nucléaires en 2006. Les prélèvements d'eau de mer ne sont pas comptabilisés et sont en dehors du champ de l'étude. Notons toutefois, que même situés en bord de mer, les prélèvements en eau douce des centrales n'en restent pas moins conséquents (en valeur absolue).

6.3. LES QUANTITES D'EAU PRELEVEES POUR LES USAGES LIES A LA PRODUCTION D'ENERGIE NUCLEAIRE A L'HORIZON 2070

Les estimations relatives à l'énergie sont effectuées en supposant le maintien des capacités de production actuelles d'électricité des centrales nucléaires, le surplus éventuel par rapport à la demande étant exporté.

Les hypothèses retenues par le MEDDE sont des prélèvements et des consommations d'eau identiques à celle de 2006, soit respectivement 15 958 et 790 millions de m³.

7. LES PRESSIONS LIEES A LA PRODUCTION AGRICOLE (IRRIGATION)

7.1. PRESENTATION DU CHAMP IRRIGATION

L'irrigation couvre l'ensemble des cultures qui reçoivent de l'eau pour leur croissance, quelle que soit la période de l'année, la localisation de ces cultures en France et le type de culture : du maïs à la betterave en passant par les cultures légumières, les vergers, les surfaces fourragères ou encore les autres cultures céréalières (hors maïs).

L'année 2000 est l'année de base utilisée pour l'analyse et les projections des prélèvements et des consommations d'eau ; elle correspond à celle du dernier RGA connu. Depuis cette date, l'irrigation a subi de profondes transformations, grâce d'une part à l'optimisation des techniques d'apport (réduction des volumes d'eau par hectare), d'autre part avec les modifications d'assolement intervenues au cours de la dernière décennie, notamment sous l'effet des restrictions d'usage liées aux sécheresses intervenues et aux évolutions réglementaires.

7.1.1. LES RESTRICTIONS LIEES A L'IRRIGATION

La Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 présente un volet de gestion quantitative dans lequel le thème de l'irrigation est directement concerné, et ce, au travers de deux mesures :

- La répartition des volumes d'eau d'irrigation est confiée à un organisme unique pour le compte de l'ensemble des préleveurs dans les périmètres où un déséquilibre existe entre le besoin et la ressource ;
- La modification de certaines pratiques agricoles peut être rendue obligatoire dans des zones de sauvegardes quantitatives, en amont des captages d'eau potable.

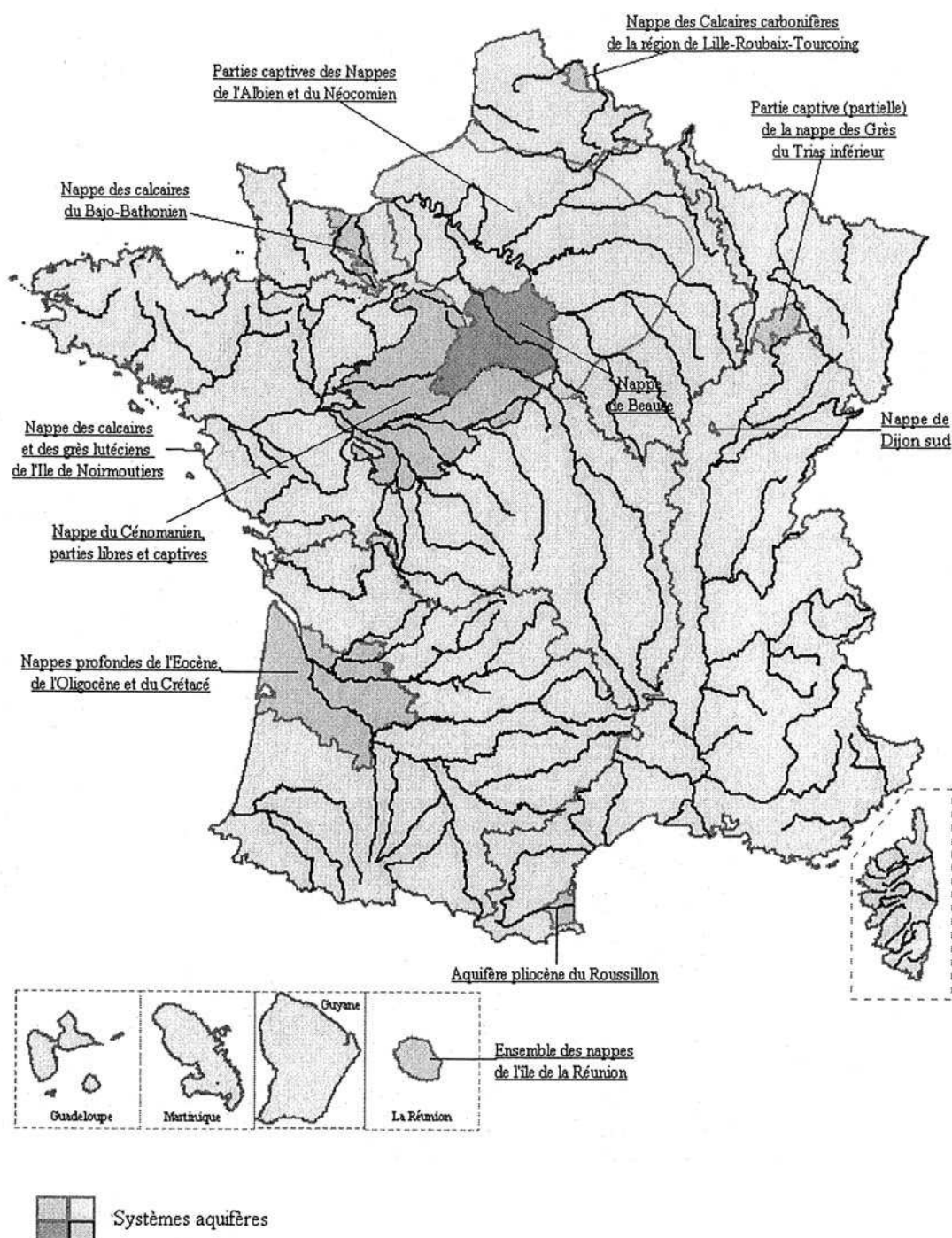
Ainsi la LEMA reformule les volumes prélevés par type de ressource en eau. Les prélèvements seront revus à la baisse (de 0 à 100%) selon les endroits : les Zones de répartition des Eaux sont les premières concernées. Ces dispositions sont applicables à partir du 1er janvier 2012 (mais les délais de mise en œuvre sont en train d'être décalés).

Les cartes ci-dessous, qui présentent les zones de répartition des eaux - superficielles et souterraines - mettent en avant les régions où des problèmes de ressources en eau existent déjà, notamment en période d'étiage, engendrant des conflits d'eau résolus (en partie) par des restrictions et/ou des interdictions d'usage pour des périodes définies dans le temps, voire

depuis quelques années des interdictions totales et pérennes (d'irrigation par exemple) sur des aires géographiques bien précises, définies par des baisses de volumes autorisés pour l'irrigation.

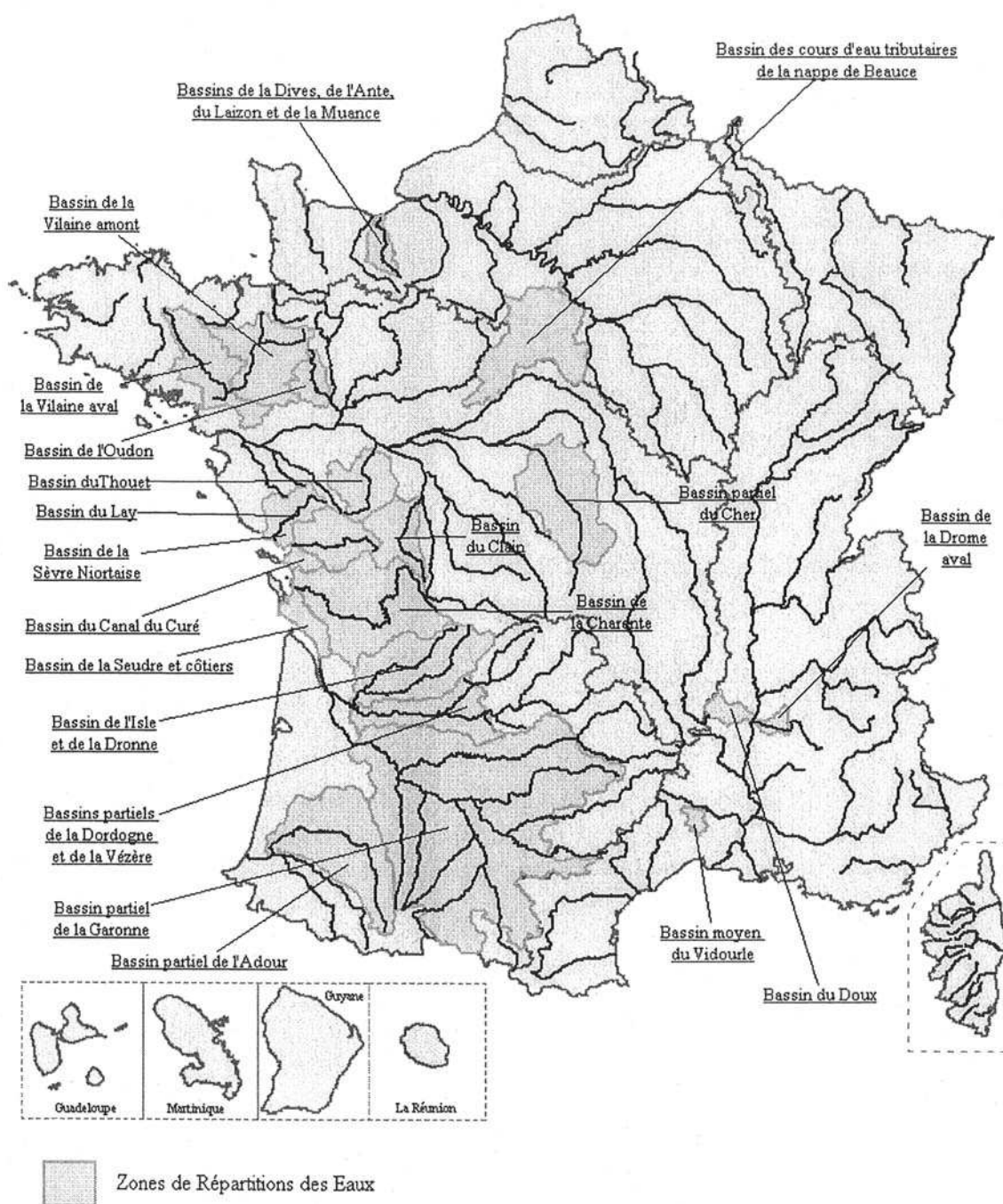
Zones de répartition des eaux

Les systèmes aquifères



Zones de répartition des eaux

Les bassins hydrographiques



Direction de l'Eau - Bureau de la Connaissance des Milieux Aquatiques - Octobre 2003

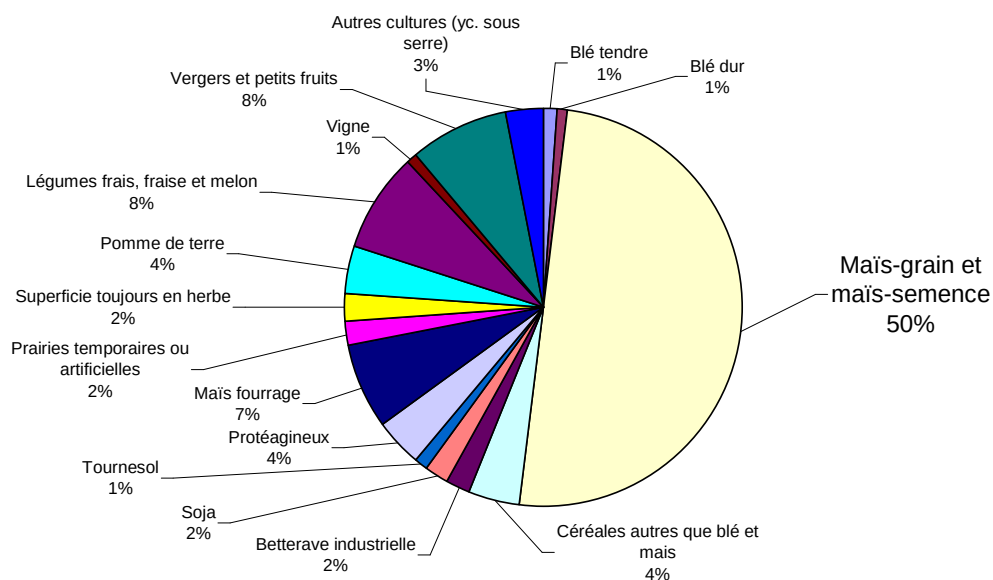
7.2. LES QUANTITES D'EAU PRELEVEES POUR L'IRRIGATION

Alors que l'on dispose des volumes prélevés par point de prélèvement sur toute la France pour l'année de référence 2006, la méthode employée est centrée sur les surfaces irriguées, auxquelles on applique des ratios de prélèvement (m³/ha) pour reconstituer les volumes d'irrigation. Les projections s'appuient sur des hypothèses de changement d'assolement sous la contrainte de réduction des possibilités d'irrigation à l'horizon 2070.

7.2.1. REPARTITION DES SURFACES IRRIGUEES PAR CULTURE

Le graphe qui suit présente la répartition des cultures irriguées en surface, en 2000.

Répartition des cultures irriguées en surface en 2000



Source : BIPE d'après données SCEES, Recensement Agricole 2000

Diversité régionale de l'irrigation

Région	Irrigation* (millions m ³)	Superficie irriguée (milliers ha)	Apport moyen (mm)	Part du maïs dans la surface irriguée (%)	Part vergers et horticulture dans la surface irriguée(%)
Poitou-Charentes	234,7	169,0	139	79	3
Aquitaine	409,0	278,7	147	74	17
Midi-Pyrénées	362,0	269,3	135	70	8
PACA	616,9	115,0	537	6	33
Languedoc-Roussillon	238,8	64,8	369	8	44

* Il s'agit ici de consommations nettes et non des prélèvements totaux

Source : IFEN 2004 (données 2001)

7.3. SOURCES DE PRELEVEMENTS

Pour l'année 2006, l'année la plus récente connue avec précision, sur 3,8 milliards de m³ d'eau prélevés pour l'irrigation²⁴, 63 % provenaient d'eau de surface et 37% provenaient d'eaux souterraines. Les sources de prélèvements sont très variables d'une région à l'autre.

7.4. LES PRINCIPES DE LA PROJECTION ET LES HYPOTHESES RETENUES

L'année 2000 est l'année de base utilisée pour l'analyse et les projections de prélèvements/consommation d'eau ; elle correspond à celle du dernier RGA connu.

Les projections de surfaces cultivées par type de culture et par région à l'horizon 2070 dans le scénario tendanciel selon les deux variantes élaborées par le BIPE.

Pour obtenir la demande en eau des cultures, le modèle mis au point par Energies Demain commence par calculer le besoin en eau mensuel de chacune des cultures. Ce besoin en eau des cultures est ensuite comparé aux précipitations sur les surfaces cultivées. Les besoins en eau sont reconstitués à la fois pour les cultures irriguées et les cultures qui ne le sont pas. Si ces précipitations ne sont pas suffisantes pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau des cultures et que la surface est irriguée, alors un apport supplémentaire par irrigation est nécessaire. Le volume d'eau qui est effectivement apporté pour l'irrigation dépendra ensuite de l'efficience du système d'irrigation. Pour un système d'irrigation très efficient (goutte à goutte) le volume apporté sera proche de la différence entre les besoins en eau des cultures et les précipitations, mais pour certains systèmes beaucoup moins efficient (irrigation gravitaire) le volume apporté peut être jusqu'à deux fois supérieurs à celui effectivement nécessaire pour compléter les besoins en eau des cultures.

Le détail pour le calcul du besoin en eau des cultures (source : Energies Demain) est le suivant :

- Le besoin en eau des cultures est assimilé à l'évapotranspiration réelle (ETR)
- L'évapotranspiration réelle (ETR) s'obtient en multipliant l'évapotranspiration (ETo) potentielle par le coefficient cultural (Kc).

$$\mathbf{ETR = ETo * Kc}$$

²⁴ Ibid.

- L'évapotranspiration potentielle (ET_p) est définie par Penman (1956) comme étant la quantité d'eau transpirée par une végétation courte et verdoyante, recouvrant complètement le sol, de hauteur uniforme et qui ne manque jamais d'eau. Elle se calcule à partir de la formule de Penman-Monteith et des données climatiques fournies par Météo France pour le territoire métropolitain.
- Le coefficient cultural (K_c) est fonction du type de culture et de son stade cultural.

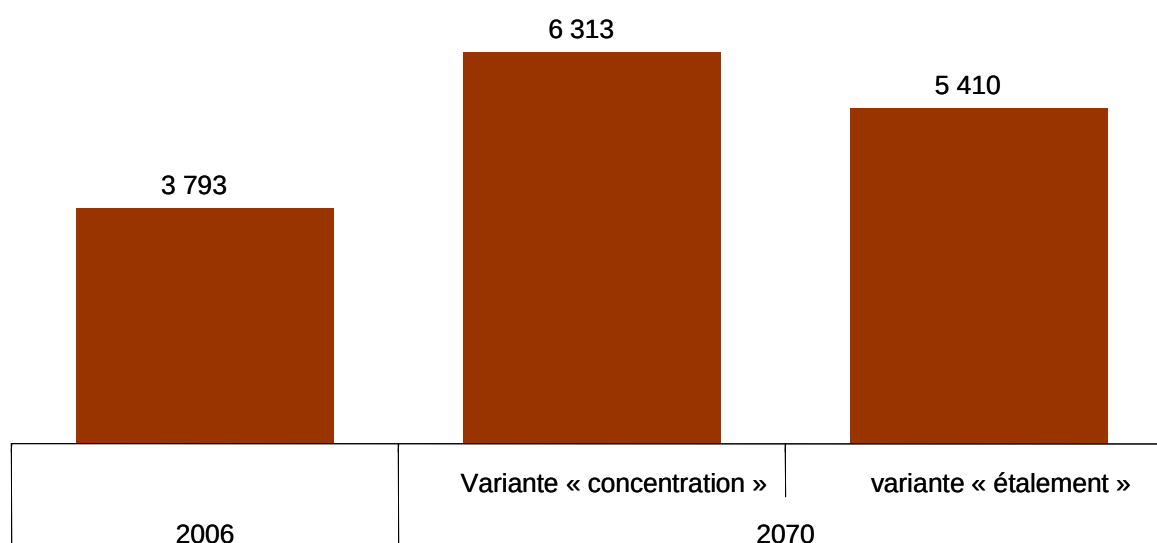
7.5. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070

Sur la base de ces hypothèses, les prélèvements d'eau de l'agriculture devraient augmenter de 66% dans la variante « concentration » et de 43% dans la variante « étalement ».

L'agriculture devrait prélever 5,4 à 6,3 milliards de m³ d'eau prélevés en 2070 selon la variante de type d'habitat retenue.

Prélèvements d'eau pour l'irrigation à l'horizon 2070 selon le type de variante du scénario tendanciel

Millions de m³



Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections Energies Demain

8. LES PRESSIONS LIEES A L'INDUSTRIE

8.1. PRESENTATION DU CHAMP INDUSTRIES

Les prélèvements référencés dans le champ « Industries » recouvrent de nombreuses sources de prélèvements, pas seulement de nature industrielle au sens propre du terme (c'est-à-dire au sens d'une activité productive).

Ainsi, dans le fichier du SOeS, en plus des activités industrielles, on retrouve référencées dans le même champ :

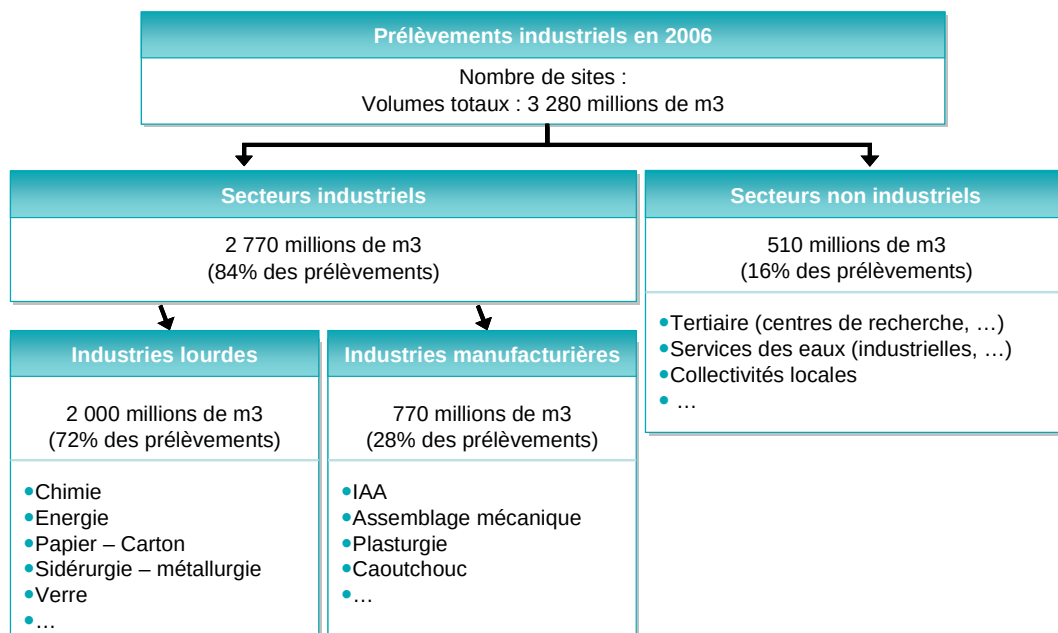
- Des activités agricoles (production de légumes ...) ou agro-alimentaires de première transformation (vinification) ;
- Des activités de gestion de biens immobiliers : logements collectifs en copropriété ou en location (logement social de type HLM par exemple) ;
- Du commerce avec des enseignes de grande distribution ;
- Des activités tertiaires : bureaux de services et centres de recherche (dont EDF) ;
- Des activités du BTP ;
- Des casernes ;
- Des collectivités locales pour les eaux d'arrosage et surtout des eaux pour les retenues destinées à la fabrication de neige artificielle (dans les communes touristiques des Alpes) ;
- Des services des eaux qui alimentent des usines sur des plates-formes industrielles (Le Havre, Dunkerque ...), les volumes sont de l'ordre de 10 à 20 millions de m³ par usine de production d'eau...

Au total, le secteur « industrie » au sens large a prélevé 3 280 millions de m³ en 2006, répartis comme suit :

- Près de 2 770 millions de m³ par l'industrie au sens propre du terme (soit 84 % du total des prélèvements « industries ») ;
- 510 millions de m³ pour les activités assimilées à l'industrie, soit 16 % des volumes « Industrie ».

L'industrie est par ailleurs également raccordée au réseau AEP pour les « eaux vannes » (sanitaires, douches, cantines ...). Cette consommation d'eau n'est pas neutre, puisqu'on estime qu'elle représente entre 15 et 20 % des volumes d'eau distribués par l'AEP (c'est-à-dire les volumes d'eau AEP qui ne sont pas distribués aux ménages, mais aux activités économiques).

Répartition des prélèvements d'eau pour les usages industriels en 2006



Source : BIPE d'après SoeS - 2011

8.2. LES QUANTITES D'EAU PRELEVEES PAR L'INDUSTRIE

8.2.1. REPARTITION PAR SECTEUR

Dans les prélèvements « industries » on distingue deux catégories d'usages :

8.2.1.1. LES USAGES INDUSTRIELS PROPREMENT DITS : 2 770 MILLIONS DE M³ PRELEVES EN 2006

Quatre secteurs industriels concentrent 65 % du total de ces prélèvements industriels (pour l'année 2006) :

- La chimie (au sens large, c'est à dire incluant chimie de base et chimie de spécialités) qui, avec plus de 1 milliards de m³ de prélèvements, représente 36 % du total industriel ;
- La papeterie, avec 320 millions de m³ (12% des prélèvements industriels) est le 2^{ème} préleveur industriel ;
- Les Industries Agro-alimentaires (IAA) qui, avec 275 millions de m³ prélevés, constituent le 3^{ème} préleveur industriel : ce secteur est lui-même composé de nombreuses branches, aux caractéristiques très différentes ; parmi les plus gros « préleveurs » au sein de l'industrie agro-alimentaire figurent les huileries, les malteries et amidonneries, les laiteries et les industries des boissons et eaux

minérales ;

- Les Usines d'Incinération d'Ordures Ménagères qui, avec près de 200 millions de m³ prélevés, représentent 10 % du total des prélèvements industriels.

D'autres secteurs ont également un poids important dans les prélèvements industriels : la production d'énergie (hors nucléaire, traité séparément) représentée par les centrales de cogénération installées sur sites industrielles et les chaufferies urbaines, qui compte pour 190 millions de m³ en 2006 ; la production de matériaux de construction, notamment les gravières et les carrières, qui utilise 170 millions de m³ ; le raffinage, avec 150 millions de m³ ; et les industries de production et de première transformation de métaux ferreux – sidérurgie, 95 millions de m³ - et de métaux non ferreux – métallurgie, 54 millions de m³.

Ensemble, ces neuf secteurs ont prélevés plus de 2 450 millions de m³, soit 88 % des prélèvements totaux de l'industrie en 2006.

Dans la répartition des prélèvements par type d'industrie, les industries de biens intermédiaires (industries lourdes de 1^{ère} transformation), à savoir, la chimie, la papeterie, le raffinage, les industries métallurgiques et la production d'énergie/UIOM, totalisent plus de 2 000 millions de m³ de prélèvements, soit 72 % des prélèvements industriels en 2006. Ces volumes sont majoritairement destinés au refroidissement des équipements puisqu'il s'agit d'activités de production à partir de procédés thermiques à moyenne et haute température.

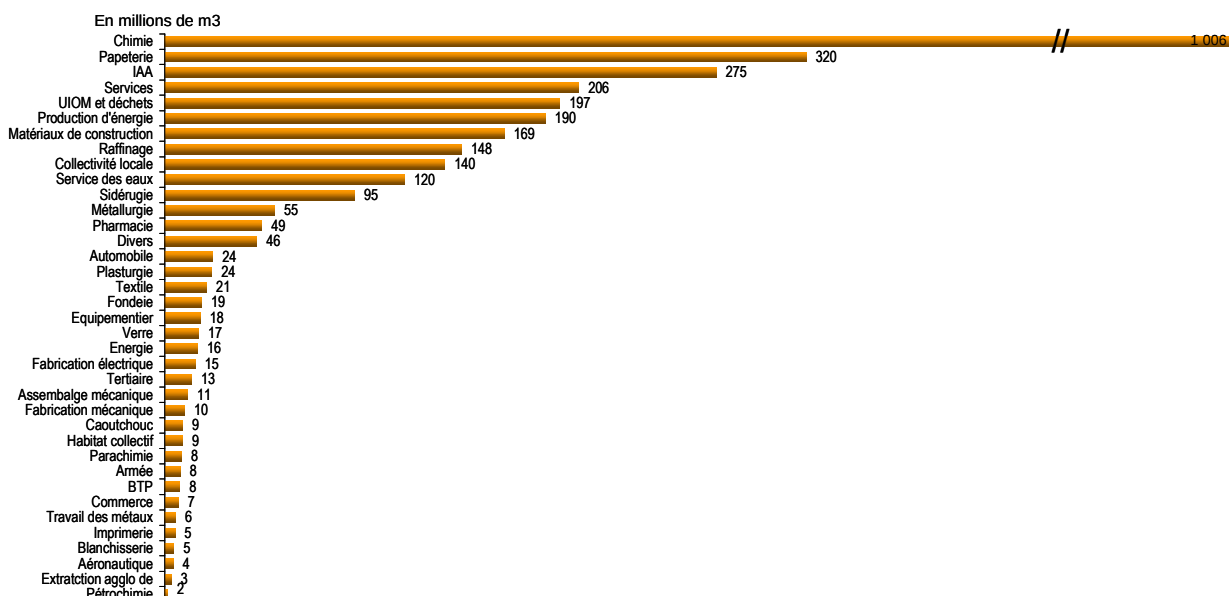
8.2.1.2. LES USAGES « NON INDUSTRIELS » : 510 MILLIONS DE M³ EN 2006

Cette famille d'usage est principalement représentée par trois activités :

- Les services (activités tertiaires) : avec plus de 200 millions de m³, ces activités représentent 40 % des prélèvements « non industriels ». Il s'agit principalement des centres de recherche d'EDF où des pilotes assimilables à équipements de type industriel sont essayés, et donc mobilisent les mêmes besoins en eau que des usines en situation réelle (toutes proportions gardées) ;
- Les collectivités locales : celles-ci prélèvent 140 millions de m³ (27 % des prélèvements « non industriels »), concentrés en grande partie sur les communes des Alpes, pour le remplissage de réservoirs d'eau pour la production de neige artificielle en hiver dans les stations de ski ;
- Les services des eaux (120 millions de m³, soit 23 % des prélèvements « non

industriels) qui produisent de l'eau de type industrielle (de qualité inférieure à celle de l'eau potable) pour la distribuer à des sites industriels répartis sur des plates-formes (raffineries, pétrochimie, usines chimiques et métallurgiques...).

Prélèvements d'eau pour les usages industriels par secteur d'activité en 2006



Source : BIPE d'après SoeS - 2011

8.2.2. SOURCES DE PRELEVEMENTS

L'eau prélevée dans le milieu naturel pour les usages industriels et non-industriels provient à 56% des **eaux de surface**, ce qui a représenté un total de 1 842 millions de m³ en 2006²⁵.

L'eau prélevée dans le milieu naturel pour les usages industriels et non-industriels provient à 44% des **nappes souterraines**, ce qui a représenté en 2006 un total de 1 437 millions de m³.

Deux remarques peuvent être apportées concernant les sources de prélèvements :

- D'une part, les prélèvements les plus importants en volume, qui sont destinés au refroidissement, sont effectués majoritairement en rivière pour être rejetés sur place (quasiment au même endroit que le prélèvement lui-même) ;
- D'autre part, les sites qui prélèvent en circuit ouvert, c'est-à-dire avec les niveaux de prélèvements les plus importants (plusieurs millions de m³ voire plusieurs dizaines de millions de m³ par an) sont situés près des plus grands fleuves : Seine, Rhin et Rhône.

²⁵ Ibid

Le niveau élevé des débits et l'absence, jusqu'à un passé récent, de problèmes quantitatifs sur ces rivières explique en partie pourquoi ces sites n'ont pas fermé les circuits de refroidissement.

8.3. LES USAGES DE L'EAU INDUSTRIELLE

Il y a plus d'une dizaine d'usages génériques de l'eau. L'eau employée dans l'usine entre plus ou moins en contact direct avec l'outil de production ou avec le produit.

On peut distinguer trois grandes familles d'usages :

- En amont du process : lavage ou transport de la matière première ;
- Utilisation de l'eau dans le process lui-même : agent de fabrication, lavage du produit ;
- Indirectement dans le process, production d'utilités :
 - o Soit pour le chauffage des produits, voire des équipements (vapeur, eaux chauffées) ;
 - o Soit pour le refroidissement des équipements (eau de refroidissement, eau glacée ...).

En annexe, deux tableaux présentent les usages de l'eau par secteur industriel (selon la typologie retenue).

L'analyse de ces tableaux fait ressortir des usages communs à la plupart des secteurs industriels : lavages/rinçages des équipements et locaux, et refroidissement des équipements. L'utilisation de l'eau pour la production de vapeur est également commune à la plupart des grands secteurs industriels. Seules la mécanique, la sidérurgie-métallurgie ou encore les activités de production de matériaux de construction en utilisent peu (on peut toutefois trouver certaines applications particulières). C'est le cas par exemple de la production de vapeur en cimenterie pour réchauffer les combustibles pétroliers.

En ce qui concerne les autres types d'usages, on distingue des industries qui emploient de l'eau majoritairement pour le lavage et le transport des matières premières (IAA et matériaux de construction – gravières - principalement), les industries qui emploient l'eau principalement comme agent de fabrication (chimie, papeteries certaines IAA, BTP...), d'autres qui l'emploient comme agent conducteur pour les traitements électrolytiques. Une même industrie utilise l'eau pour plusieurs usages à la fois, et les niveaux de qualité des eaux requis sont différents selon les applications.

Le tableau suivant présente les différents secteurs industriels de la base du SOeS (la correspondance entre la raison sociale et le secteur a été effectuée par le BIPE) selon la répartition de leurs prélèvements par nature d'usage : eaux de process et eaux de refroidissement. Ces données sont issues d'un travail analytique détaillé réalisé par le BIPE sur les industries du bassin Seine-Normandie en 2003. Si les pourcentages de répartition ont pu évoluer sur la période 2003-2006, les ordres de grandeurs restent valables. C'est sur ces répartitions que les calculs ont été effectués pour la modélisation et la projection à long terme.

Secteurs Explore 2070	Process	Refroidissement
Agriculture	100	0
Armée	Idem AEP	0
Blanchisserie	100	0
Collectivités locales	Idem AEP ou production de neige artificielle	
Commerce	100	0
Habitat collectif	100	0
Services	?	100 ? (centres de recherche)
Textile	99	1
Papeterie	72	27
BTP	50	50
Divers	50	50
Exploration pétrole	50	50
IAA	50	50
Travail des métaux	37	53
Matériaux de construction	35	65
Verreries	35	65
Parachimie	33	66
Pharmacie	33	66
Aéronautique	21	72
Assemblage mécanique (idem fabrication mécanique)	21	72
Equipementiers	21	72
Fabrication électrique	21	72
Plasturgie	21	72
Automobile	27	73
Caoutchouc	24	74
Chimie	24	74
Pétrochimie	20	80
Pétrochimie	20	80
Raffinerie	20	80
Fonderie	12	88
Métallurgie	12	88
Sidérurgie	12	88
UIOM	5	95
Energie	3	97

Source : BIPE d'après étude AESN 2003

8.4. LA NATURE DES CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT

Dans le paysage industriel actuel, on distingue, parmi les industries qui utilisent des circuits de refroidissement, deux types de sites selon la nature de leur circuit de refroidissement :

Les sites avec circuits fermés : le recyclage en boucle (quasi) fermée des eaux de refroidissement limite très fortement les prélèvements en eau. Seuls des appoints en eau sont effectués en remplacement des eaux évaporées ou purgées (le recyclage en boucle concentre les pollutions ...). Il y a donc ici une consommation d'eau associée au fonctionnement des circuits de refroidissement. Pour ces industriels, le potentiel de réduction des prélèvements est limité principalement à une baisse tendancielle, liée à une amélioration/rationalisation des procédés de fabrication (mais pas des circuits de refroidissements).

Les sites qui fonctionnent avec un circuit de refroidissement ouvert : il y a un niveau de prélèvement significatif, dont le volume dépend de la nature des procédés et qui est également proportionnel à la taille des usines (donc au volume de production). Il y a un rejet direct des eaux de refroidissement dans le milieu naturel sans consommation associée (taux de consommation = 0). Pour ces sites, le potentiel de réduction des prélèvements est très important sous réserve qu'il soit réalisable (coût d'investissement, intégration aux procédés en place etc.)

Une troisième catégorie a toutefois été définie, les sites « mixtes » toujours sur la base d'une fourchette de prélèvements, correspondant à une frange d'industriels qui présentent une possibilité de réduction des prélèvements (fermeture encore possible d'une partie des circuits, amélioration des procédés et recyclage des eaux sur site ...).

Considérant que le potentiel de réduction des prélèvements est plus important pour les eaux de refroidissement que pour les eaux de process (sauf dans certains secteurs, comme dans l'agro-alimentaire), on peut considérer :

- Qu'à l'échelle des secteurs, certains secteurs présentent un potentiel à long terme de réduction des volumes prélevés plus important que d'autres, notamment les secteurs des industries de production de biens intermédiaires (industries lourdes) que pour les industries d'assemblages ou manufacturières.
- Qu'à l'échelle des sites industriels, le potentiel de réduction est plus important pour une usine dont le refroidissement des équipements est effectué en circuit ouvert par rapport à un site du même secteur avec une production (et un process) comparable qui

utilise un refroidissement en circuit fermé.

Selon la règle définie par le BIPE (voir plus loin), qui ne tient pas compte de la nature des procédés, mais de seuils de niveaux de prélèvements, la répartition tous secteurs confondus entre les trois catégories d'usines (définies selon le type de circuit de refroidissement) est la suivante :

Prélèvements en millions de m3

type de circuit refroidissement	2006
Ouvert	2 411
Mixte	441
Autres	427
Total	3 279
Source : estimation BIPE 2011	

8.5. LES TAUX DE CONSOMMATION DES EAUX

Le taux de consommation des eaux sur site défini par le « % de volumes d'eau prélevés qui n'est pas restitué au milieu/total de l'eau prélevée » est donc variable d'un secteur à l'autre, selon les procédés mis en œuvre, d'une part, et selon la nature des circuits de refroidissement, d'autre part.

Il n'est pas possible de définir un taux moyen de consommation d'eau par site et l'on est obligé de s'en tenir à une moyenne sectorielle, même si celle-ci dépend de paramètres qui peuvent fortement varier d'un site à l'autre. Les valeurs moyennes de prélèvements sont données dans le tableau ci-dessous.

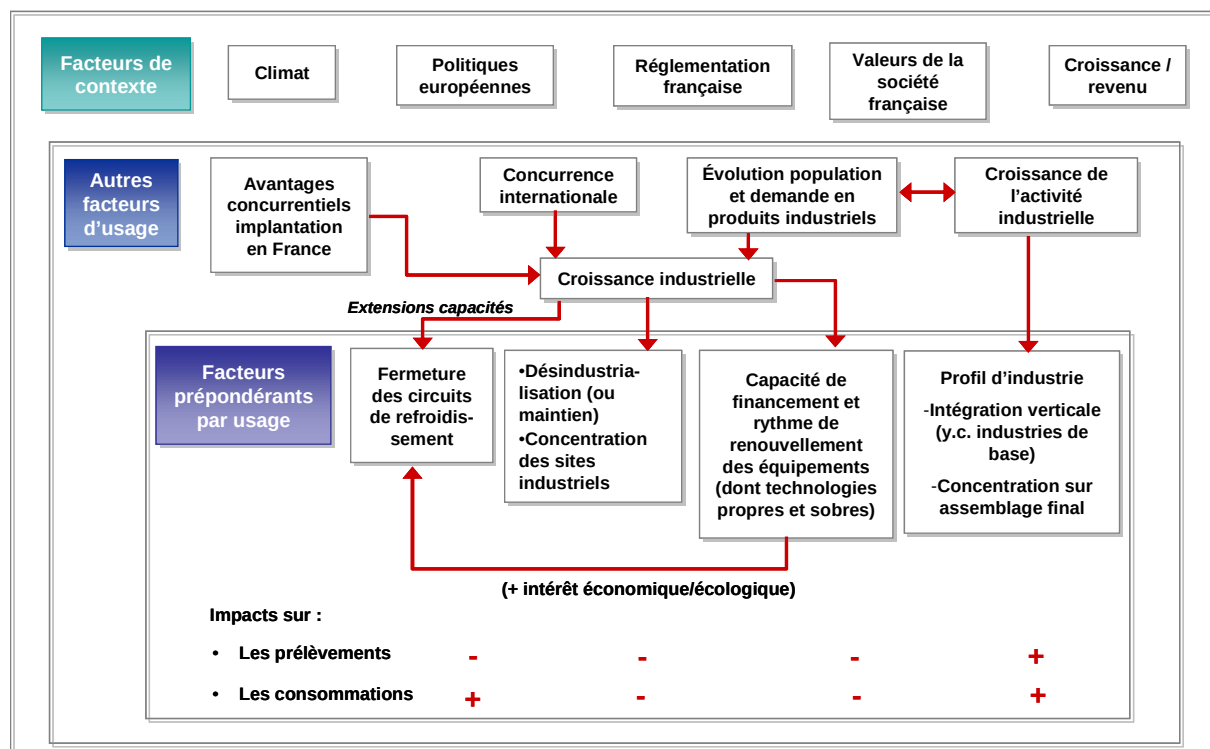
Ratios des consommations d'eau par grand secteur d'activité

Activité		Ratio des consommations d'eau
Industrie agro-alimentaire	Industrie de la viande	27%
	Industrie agroalimentaire de première transformation	7%
	Industrie du lait	10%
	Fabrication de sucre	0
Papier-Carton		3%
Raffinage pétrole		2%
Chimie		10,6%
Autres secteurs		7%
Mécanique-travail métaux-automobile	Travail des métaux	1%
	Traitement de surface	1%
	Assemblage d'équipements mécaniques et électriques	4%
	Automobile	4%
UIOM		31,6%

Source : BIPE d'après enquêtes 2003 et études des dossiers de déclarations d'activités polluantes

8.6. LE SOUS-SYSTEME « INDUSTRIE »

Schéma du sous-système « industrie »



Source : BIPE, d'après enquêtes 2005

Le sous-système « Industries » met en jeu de nombreux facteurs, parmi ceux-ci, nous en retiendrons 3 principaux :

- **L'activité économique, et les perspectives à l'horizon 2070 de la production en volume**, calculée sur la base d'un taux de croissance spécifique à chaque secteur. On considère que les prélèvements pour la production (eaux de process) sont proportionnels à la production en volume ;
- **La capacité à améliorer les procédés pour diminuer les prélèvements d'eau**. On retient une diminution moyenne des prélèvements, résultant de l'amélioration continue des procédés, à un rythme annuel commun à tous les secteurs. Il est en effet difficile d'individualiser cette baisse des prélèvements en l'absence de séries rétrospectives longues à l'échelle sectorielle. Le potentiel de réduction est appliqué uniquement aux volumes d'eau employés pour le process ;
- **La nature des circuits de refroidissement** : circuits fermés ou circuits ouverts. La lecture détaillée des niveaux de prélèvements site par site a permis de les classer selon l'une des catégories présentées plus avant (circuit ouvert, circuit fermé ou « mixte ») : par hypothèse, le potentiel de réduction des prélèvements dépend de la catégorie

d'appartenance du site et est appliqué uniquement aux volumes d'eau de refroidissement.

8.7. LA METHODOLOGIE DE PROJECTION DES PRELEVEMENTS ET CONSOMMATIONS LIEES A L'INDUSTRIE

8.7.1. LES PRINCIPES DE LA MODELISATION

La modélisation des pressions industrielles sur l'eau, autrement dit la projection des prélèvements industriels à long terme a été réalisée sur la base de l'évolution de plusieurs variables clés qui dimensionnent les volumes d'eau nécessaires au fonctionnement des usines. Les volumes d'eau de base sont représentés par les prélèvements réalisés en 2006, site par site, tels que renseignés dans la base de données du SOeS.

Le principe général du calcul des volumes prélevés à l'horizon 2070 est le même que pour l'AEP : il s'agit d'appliquer des taux de croissance (ou décroissance) annuels moyens (TCAM) aux différentes variables et de combiner ces valeurs entre elles pour obtenir les valeurs en 2070.

Comme pour l'AEP, les projections sont effectuées pour chaque point de prélèvement c'est-à-dire pour toutes les usines présentes dans la base (soit au total 5877 sites en 2006).

Après avoir retiré de la projection les sites qui ont fermé entre 2006 et 2011, la modélisation s'articule autour de trois variables :

Production industrielle en 2007 : on considère que le prélèvement d'eau est en partie proportionnel à la production en volume d'une industrie. Des ratios spécifiques de prélèvement (consommation) d'eau existent pour chaque activité, aussi bien pour ce qui concerne les eaux de process (sens large) que les eaux de refroidissement. Ces ratios sont généralement exprimés en m³ prélevés/unité d'œuvre (tonne de sucre, tonne d'acier, tonne de pétrole raffiné ...). On peut également les exprimer en m³ prélevés/employés (sous réserve d'utiliser ce ratio pour comparer des procédés de fabrication identiques voire très proches).

Economies d'eau : on a observé sur long terme (1975-2007) une baisse tendancielle des prélèvements d'eau de -1,9 % par an alors que dans la même période, la production industrielle en volume augmentait de 2,5% par an. Ainsi on peut considérer que la baisse tendancielle des économies de prélèvements d'eau a donc été annuellement de - 4,4%. En l'absence de données plus détaillées, notamment à l'échelle des secteurs ou des sites les plus

significatifs en termes de prélèvements, il est difficile d'en dire beaucoup plus. Retenons cependant deux points :

- La baisse des prélèvements a été un phénomène commun à toutes les industries, et reflète des améliorations de process, des économies d'échelle (regroupement de production) et la fermeture de circuits de refroidissement ;
- Le Taux de croissance annuel moyen (TCAM) de -4,4% observé entre 1975 et 2007 correspond à une valeur synthétique reflétant des évolutions contrastées à l'échelle des secteurs et plus encore à l'échelle des sites. Ce taux de croissance intègre notamment des fermetures de circuits de refroidissements, mais aussi des fermetures d'usines au long des 50 dernières années. Ce dernier phénomène n'est pas neutre, comme l'analyse du fichier de base du SOeS de 2006 a pu le montrer puisqu'il recense un certain nombre de sites aujourd'hui (2011) fermés, dont certains qui présentaient à l'époque des volumes de prélèvements importants (plusieurs dizaines de millions de m³).

Nature des circuits de refroidissement : le BIPE a souhaité distinguer les sites industriels dans la base prélèvement du SOeS selon trois classes de prélèvements qui reflètent une approche empirique de la nature des circuits de refroidissement (ouvert ou fermé) ainsi que du potentiel de réduction des prélèvements :

- Prélèvements de 0 à 300 000 m³ (circuits fermés) : il s'agit de sites qui présentent un potentiel de réduction des prélèvements limités. L'évolution à long terme correspondra à une tendance moyenne asymptotique (-2,5%/an) ;
- Prélèvements situés entre 300 000 m³ et 1 million de m³ (circuits mixtes) : cela concerne des sites qui présentent encore un potentiel de réduction des prélèvements, dont la valeur est estimée arbitrairement à -10 % du total du volume prélevé en 2006 et appliquée en plus de la baisse tendancielle asymptotique de -2,5%/an (la même que pour les secteurs dans la classe de prélèvements précédente) ;
- Prélèvements situés au dessus de 1 000 000 m³ par an (circuits ouverts) : on considère que les sites qui prélèvent plus d'un million de m³ d'eau par an sont en circuit ouvert. A l'horizon 2070, les circuits de refroidissements seront tous fermés, ce qui correspond à une diminution par 10 des niveaux de prélèvements. Cette réduction (de 65% du volume de 2006, soit -1,6% par an sur la période 2006-2070) est appliquée

aux seuls volumes prélevés pour le refroidissement calculés sur la base d'un ratio « % eau de refroidissement/prélèvement total », issus du tableau présenté précédemment.

Les fourchettes haute et basse des classes de prélèvements utilisés proviennent d'un calcul de moyennes réalisé sur les sites dont on connaît la nature des circuits de refroidissement (fermé ou ouvert) : ces informations sont issues du fichier du SOeS pour les sites situés sur le Bassin Rhône Méditerranée Corse.

Le principal point faible de cette méthode est qu'elle ne tient pas compte des secteurs d'appartenance des usines, que l'on répartit selon leur potentiel de réduction de prélèvement. En effet, un même niveau de prélèvement peut représenter beaucoup ou très peu selon les secteurs et selon les sites (eu égard à la taille de ce site et du type de fabrication).

Un prélèvement de 300 000 m³ peut donc correspondre à un volume élevé (calculé) pour une sucrerie et notamment à l'utilisation d'un circuit ouvert, mais peu pour un site de chimie de base où il correspondra alors à un circuit de refroidissement fermé.

Pour parfaire cette méthode, il faudrait connaître ou évaluer les ratios de prélèvements moyens par secteur en m³/unité de produit (m³/tonne d'acier par exemple) ou en m³/employé sur le site. Ensuite, il faudrait comparer les niveaux moyens de prélèvements des sites par rapport à cette moyenne. Cela relève d'un travail rigoureux, certes, mais qui dépasse de loin, les moyens et les objectifs de cette étude. Par ailleurs, le degré de précision supplémentaire et d'exactitude associée seraient probablement limités comparativement à l'effort qu'il faudrait déployer pour mener cet exercice. En synthèse, nous pouvons dégager 2 tendances :

- Une baisse moyenne de -2,5% par an des eaux prélevées pour le process ;
- Une baisse de -1,4% par an des eaux de refroidissement.

Soit au total, une diminution cumulée potentielle de – 4,0 % par an, ce qui, à l'échelle de l'industrie, ne se vérifie pas car cette baisse est contrebalancée par l'augmentation de production en volume qui génère elle-même une demande supplémentaire en eau.

Ce taux est appliqué à l'ensemble des sites qui consomment peu : on considère que le potentiel de réduction des prélèvements reste encore limité. En effet, la réduction future n'est pas calée sur le rythme de diminution observé sur une longue période lors des 50 dernières années, car on considère que la majeure partie des efforts de réduction des prélèvements a déjà été fait et lors des 60 prochaines années, le taux de diminution des prélèvements ne sera pas aussi important.

Au total, le scénario retenu repose donc sur la poursuite de la fermeture des circuits de refroidissement et une amélioration continue des procédés de fabrication de manière à les rendre plus économes en eau. Le scénario tendanciel n'intègre ni de ruptures technologiques majeures, ni une mutation profonde de l'industrie dans sa structure et ses productions.

Cette modélisation aboutit à une évolution significative de la structure des prélèvements d'eaux industrielles selon leur usage dans les usines : à long terme, le poids des eaux de process devrait augmenter très fortement en proportion dans le total des volumes prélevés, tandis que les eaux de refroidissement devraient sensiblement diminuer. Dans les faits, une inversion de proportion pourrait se produire dans certains secteurs. Ce phénomène s'est déjà produit dans des secteurs tels que la laiterie où les eaux de process représentent désormais plus de volumes d'eau que les eaux de refroidissement. Cela veut également dire que les taux de consommation d'eau devraient progresser sensiblement car, dans l'hypothèse de la fermeture de tous les circuits d'eau, les pertes par évaporation devront être compensées par des appoints d'eau.

8.7.2. LES HYPOTHESES RETENUES

La première hypothèse forte consiste à considérer que les sites en activité en 2006 le seront encore en 2070. Dans la réalité, il est probable que de nombreux sites industriels auront disparu d'ici là, dans la mesure où des pans entiers d'activités industrielles se seront recomposés ou auront subi des mutations profondes, voire n'existeront plus (spécialisation des productions selon les pays en fonction des avantages concurrentiels, ...).

Dans les faits, il n'est pas possible de pointer les sites qui risquent de disparaître, ceux qui vont se maintenir, se développer ou bénéficier de la fusion concentration avec l'activité d'autres sites. Or ce sont bien là les réalités industrielles qui s'opèrent au fil des années et qui sont sous-jacentes aux évolutions d'activités telles que comptabilisées (notamment au travers des TCAM). L'option retenue ici est de chiffrer les évolutions futures des prélèvements sur la base des taux de croissance moyen annuels des différents secteurs, ces derniers étant estimés dans le cadre d'un exercice de modélisation sectorielle (dans le cas présent, les TCAM de production sur lesquels s'appuient les projections issues du modèle DIVA du BIPE). Le modèle ne prédit pas la localisation et la concentration de l'activité des secteurs à long terme sur le territoire, aussi l'hypothèse faite est une évolution tendancielle à partir de la situation actuelle.

La deuxième hypothèse forte sur laquelle s'appuient les prévisions est de considérer que les économies d'eau sont réalisées au même rythme quel que soit le secteur (baisse asymptotique). De nouveau, dans la réalité, certains secteurs ont encore de nombreux progrès à faire dans le domaine des économies d'eau tandis que d'autres sont arrivés à une certaine limite basse en matière de prélèvement et de consommation d'eau. Là encore, il est difficile de moduler à priori la diminution des prélèvements d'eau à long terme secteur par secteur : cela supposerait de disposer de séries longues pour chacun des secteurs – ce qui n'est pas le cas - afin de visualiser la tendance des économies d'eau et d'identifier la forme caractéristique de la courbe des prélèvements (par exemple, courbe exponentielle, asymptote ...).

Cette difficulté, qui reflète la variation des comportements à long terme des secteurs en matière de prélèvement d'eau, est en partie résolue par la méthode proposée ici qui analyse les niveaux de prélèvements site par site, indépendamment du secteur d'appartenance, et leur affecte une évolution caractéristique selon leur typologie d'appartenance (3 classes de prélèvements). Ainsi la réduction à long terme des niveaux de prélèvements n'est pas définie a priori mais résulte de la combinaison des évolutions de prélèvements selon les secteurs, leurs profils d'usages, leur dynamique de production à long terme et du potentiel (estimé) de réduction des prélèvements à long terme (3 classes de prélèvements).



8.8. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070

Au final, sur la base de ces hypothèses, les prélèvements d'eau par l'industrie devraient baisser de 1,3% par an en moyenne entre 2006 et 2070, passant de 3 279 millions de m³ en 2006 à 1 453 millions de m³ en 2070.

Evolution des prélèvements d'eau pour les usages industriels à l'horizon 2070

Taux de croissance annuel moyen 2006-2070

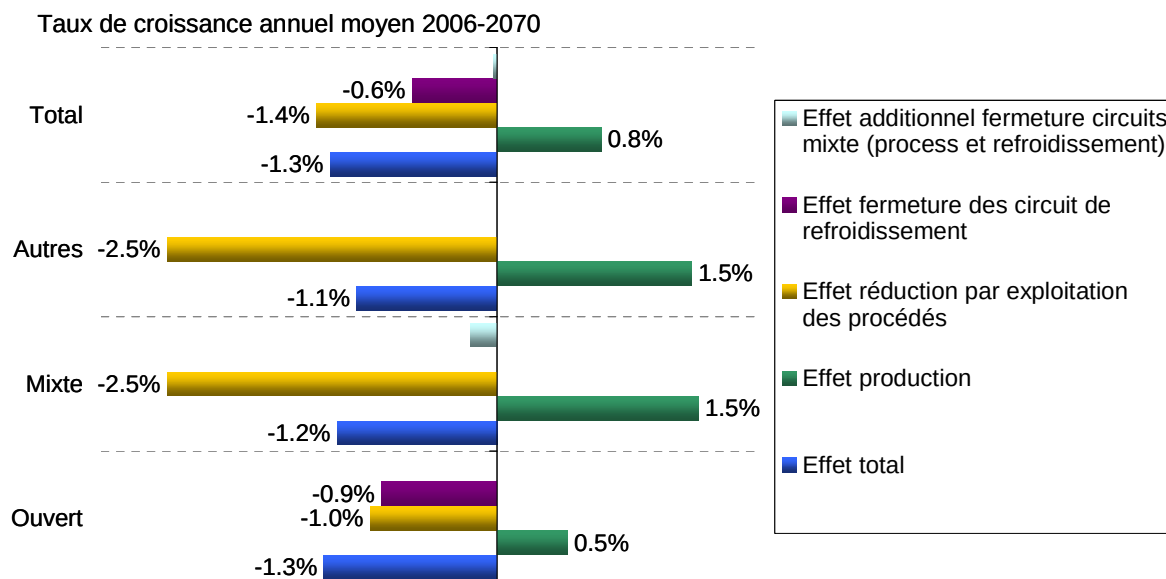
	Total des prélèvements industriels 2006 : 3 279 millions de m3			
	Prélèvements < 300 000 m3 Sites « autres »	300 000 m3 <= Prélèvements < 1 000 000 m3 Sites « mixtes »	Prélèvements > = 1 000 000 m3 Sites « ouverts »	
			Process	Refroidissement
Prélèvements 2006 en millions de m3				
	427	441	2 411	
Effet production	1,3%	1,3%	1,2%	
Effet réduction par exploitation des procédés	-2,5%	-2,5%	-2,5%	
Effet fermeture des circuit de refroidissement	-1,4%			
Effet additionnel fermeture circuits mixte (process et refroidissement)		-0,2%		
	Prélèvements 2070 en millions de m3			
	215	202	1 036	
	Total des prélèvements industriels 2070 : 1 453 millions de m3			

Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011

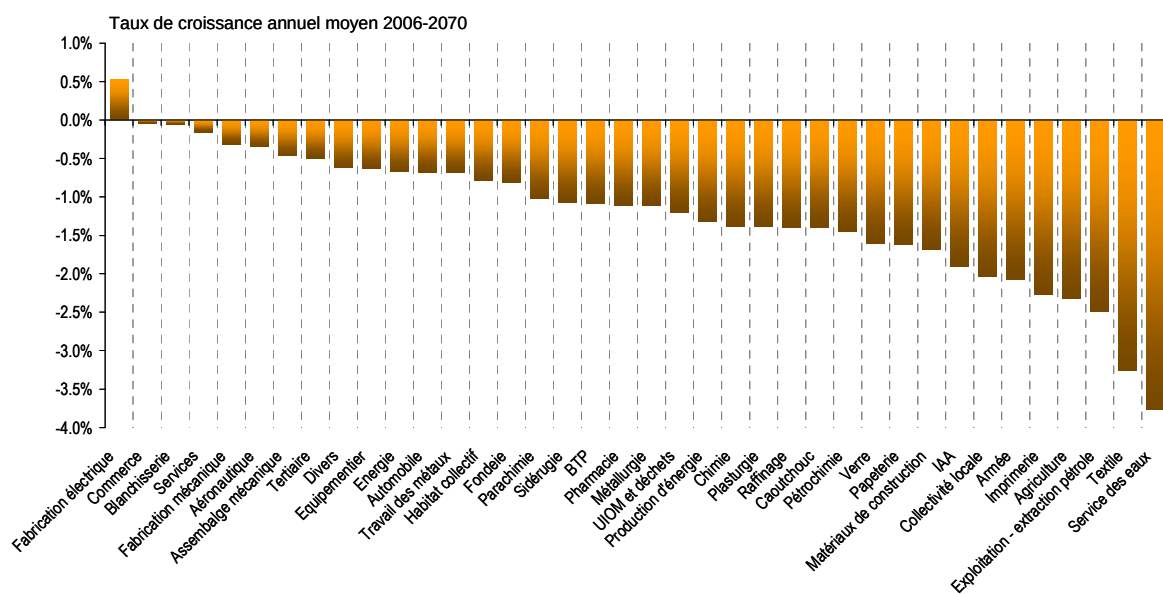
Le graphe de la page suivante présente la contribution des différents facteurs explicatifs énoncés ci-dessus à la variation calculée des volumes d'eau prélevés.

Sans surprise, la croissance attendue de la production industrielle à horizon 2070 aura un effet positif sur les prélèvements en eau, notamment pour les sites industriels « mixtes » et « autres » sans pour autant compenser les effets négatifs sur les prélèvements d'eau des gains réalisés par de meilleures exploitations de procédés et de fermetures des circuits de refroidissement.

Contribution des facteurs explicatifs de la variation des volumes d'eau prélevés pour les usages industriels



Variation des volumes d'eau prélevés pour les usages industriels par secteur d'activité

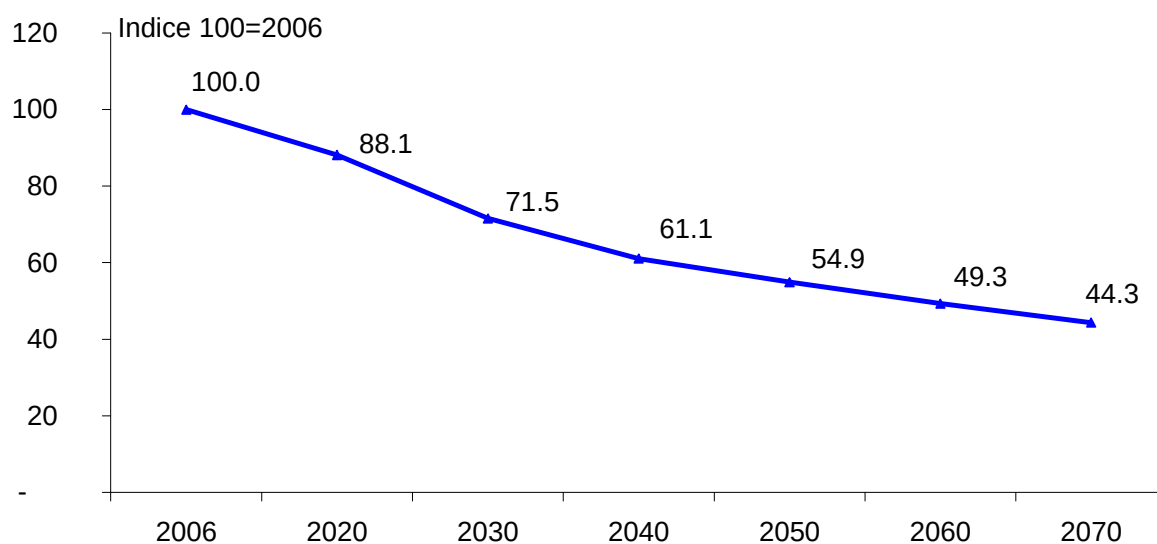


Les secteurs industriels dont les prélèvements en eau sont supérieurs à la moyenne sont : la chimie, le raffinage, la papeterie, les matériaux de construction, les IAA, les collectivités locales, les services des eaux.

Le cheminement de baisse des prélèvements d'eau dans l'industrie suit l'évolution de

l'investissement des entreprises. Les prélèvements d'eau dans l'industrie devraient connaître une accélération de leur rythme de décroissance entre 2020 et 2040, période où les investissements des entreprises seront soutenus.

Evolution des prélèvements d'eau pour l'industrie



Source : projections BIPE 2011

Les usages de l'eau dans l'industrie par fonction et par secteur

Procédés ou étapes du process	Fonctions						Utilités			
	Lavage de la matière première	Transport matières premières ou déchets	Addition au produit	Agent de fabrication	Lavage de produits ou d'appareils	Traitements électrolytiques	Refroidissement	Chaudières Vapeur process	Transport de chaleur	Autres
Chimie de spécialités			XXX	XXX	XXXX		XXX	XXX		
Chimie de base			XX	XXX	XXXX		XXX	XXX		
Papier Carton	XXX		X	XXX	XXX		XX	XXXX		
Travail des métaux (hors traitement de surface)	XX				XXX		XXX			Fabrication d'huiles solubles
Traitement de surfaces				XXXX	XXX	XXXX	XXX			
Raffinage de pétrole	XXX				XXX		XXX	XXX	XXX	
Energie					x		XXXX	XXX	XXX	
Assemblage d'équipements mécaniques et électriques	Voir « travail des métaux et traitements de surfaces »									
Construction automobile	Voir « travail des métaux et traitements de surfaces »									
Travail du bois et fabrication de meubles							XXX			
Industries extractives	XXX				XXX		XXX			
Caoutchouc et transformation des plastiques					XXX		XXX	XXX		
Textile et cuir	XXX			XXX	XXX			XXX		
Edition, imprimerie, reproduction			XXX		XXX		XXX			
Verre et matériaux de construction	XXX				XXX		XXX	X		
Sidérurgie		XXX			XXX	XXX	XXX	XXX	XX	
Fonderie et métallurgie				X	XXX	XXX	XXX	XXX		

Remarques :

- Le nombre de croix indique l'importance croissante (tant quantitative que qualitative) de l'usage de l'eau dans le secteur
- La comparaison intersectorielle n'est pas pertinente
- Une case non remplie signifie que le secteur n'utilise pas (ou de façon marginale) cette fonction

X : peu important ; XX : moyennement important ; XXX : important ; XXXX : Très important

Source : BIPE

Les usages de l'eau dans l'industrie par fonction et par secteur * (suite)

Procédés ou étapes du process	Fonctions						Utilités			
	Lavage de la matière première	Transport matières premières ou déchets	Addition au produit	Agent de fabrication	Lavage de produits ou d'appareils	Traitements électrolytiques	Refroidissement	Chaudières Vapeur process	Transport de chaleur	Autres
Electronique					XXXX		XXX	X		
Industrie des viandes	XXX	XXX			XXX		XXX			
Industrie du lait			XXX		XXX		XXX	XXX	XX	
Industrie des boissons alcoolisées	XXX		XXX	XXX	XXX		XXX	XXX		
Industrie des boissons non-alcoolisées			XXX		XXX		XXX	XXX		
Travail du grain, farines et fabrication d'aliments pour animaux					XXX		XXX			
Conserves de fruits et légumes	XXX			XXX			XXX	XXX		
IAA de deuxième transformation	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX		XXX	XXX		
Fabrication de sucre	XXXX	XXXX		XXX	XXX		XXX	XXX	XX	
Secteurs industriels divers										
Récupération de matières métalliques et non métalliques					XXXX					
Collecte et traitement des déchets					XXXX					
BTP		XXX	XXX	XXX	XXX					
Activités relatives à la santé										
Laboratoires techniques de développement et de tirage				XXX	XXX					
Blanchisseries	XXXX				XXX					
Remarques : - Le nombre de croix indique l'importance croissante (tant quantitative que qualitative) de l'usage de l'eau dans le secteur - La comparaison intersectorielle n'est pas pertinente - Une case non remplie signifie que le secteur n'utilise pas (ou de façon marginale) cette fonction										
X : peu important ; XX : moyennement important ; XXX : important ; XXXX : Très important										
Source : BIPE										

9. STRATEGIES D'ADAPTATION EVALUEES DANS LE CADRE DU PROJET EXPLORE 2070

Suite à l'évaluation des impacts du changement climatique, un groupe de travail élargi a été mis en place (CGDD, ONERC, ONEMA, agences de l'eau, MAAF, EDF, INRA, société du canal de Provence, etc.) afin de mener une réflexion commune sur les stratégies d'adaptation à tester à l'aide du modèle développé dans le cadre du projet. Le groupe a proposé de tester pour les prélèvement d'eau 3 stratégies d'adaptation auxquelles sont associées deux hypothèses de production d'énergie. Les stratégies proposées sont résumées dans le tableau ci-après.

3 stratégies d'adaptation 2 hypothèses énergétiques pour chaque stratégie	Stratégie d'adaptation 1 (S1) Sobriété dans les usages de l'eau	Stratégie d'adaptation intermédiaire (SI)	Stratégie d'adaptation 2 (S2) Augmentation des besoins en eau
Energie (E1) Maintien de la production du nucléaire au niveau actuel : 70% de la production totale d'électricité	AEP/Industrie Par rapport au scénario central : - Fuites dans les réseaux réduites à 15% dans tous les bassins versants ayant un taux supérieur à 15% - Réduction des consommations d'eau par ménage de 20% - Réduction des consommations d'eau par l'industrie de 20%		AEP/Industrie Hypothèses scénario tendanciel
Energie (E2) Réduction de la part du nucléaire dans la production totale d'électricité à 50% d'ici 2050	Agriculture Conversion de 100% du maïs irrigué en : 50 % céréales sèches, 30% blé irrigué, 10% soja irrigué et 10% céréales irriguées	Agriculture Conversion de 50% du maïs irrigué en : 25 % céréales irriguées et 25 % céréales sèches Conversion de 20% du blé tendre sec en blé tendre irrigué au nord de la Loire	Agriculture Conversion de 20% du blé tendre sec en blé tendre irrigué au nord de la Loire Augmentation jusqu'au double au maximum de toutes les superficies irriguées au sud de la Loire

9.1. LES PRESSIONS LIEES A L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE EVALUEES POUR LA STRATEGIE D'ADAPTATION 1 « SOBRIETE DANS LES USAGES DE L'EAU » ET POUR LA STRATEGIE D'ADAPTATION INTERMEDIAIRE (SI)

9.1.1. LES HYPOTHESES RETENUES

9.1.1.1. LES CONSOMMATIONS D'EAU PAR MENAGES

Les consommations d'eau par ménages devraient continuer de décroître à un rythme différencié selon le type d'habitat : de -0.6 % par an pour l'habitat vertical à -0.9 % par an

pour l'habitat pavillonnaire. Au total, à l'horizon 2070, sur une base de référence 100 pour l'année 2010, les consommations d'eau par les ménages seront de 66 (83 dans le scénario tendanciel) pour l'habitat vertical et de 54 (66 dans le scénario tendanciel) pour l'habitat pavillonnaire, soit une réduction de consommation en eau de 34 % dans le premier cas et de 46 % dans le deuxième cas sur la période.

9.1.1.2. LES RENDEMENTS DES RESEAUX

Dans le scénario tendanciel, les progressions des rendements des réseaux AEP à l'horizon 2070 sont modulées en fonction de la performance initiale :

- Rendement 2004 < 70 % : progression annuelle du taux de rendement de +0,3% par an entre 2004 et 2070 ;
- Rendement 2004 compris entre 70% et 80% : progression annuelle de rendement de +0,2% par an ;
- Rendement 2004 > 80% : progression annuelle de rendement de + 0,1% par an.

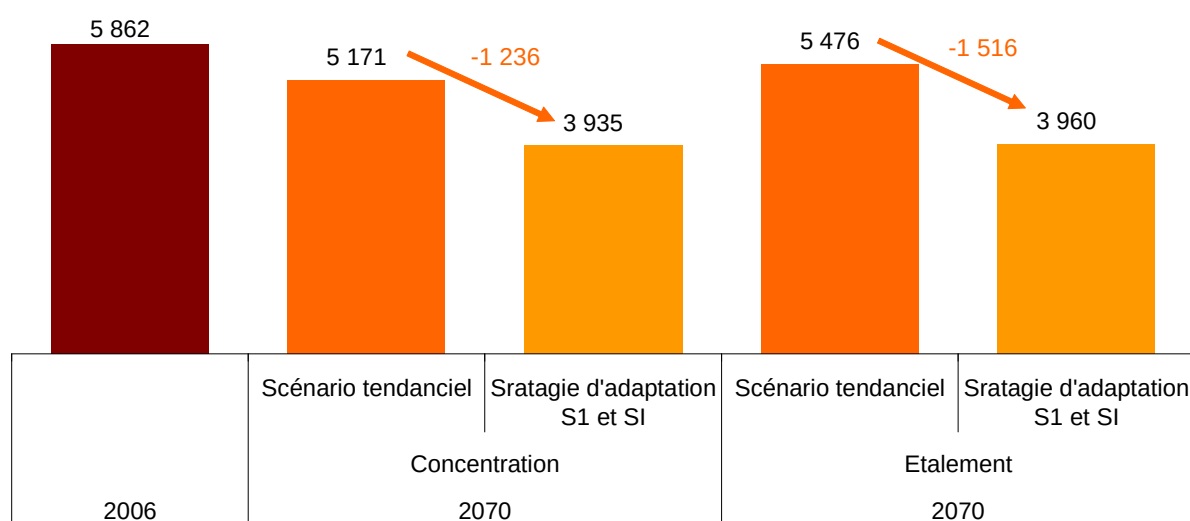
Dans le cadre des stratégies d'adaptation S1 et SI tous les bassins versants ayant un taux de rendement inférieur à 85% en 2070 dans le scénario tendanciel ont été ramenés à 85%.

Le taux moyen de rendement passant ainsi en 2070 de 84% (scénario tendanciel) à 88% pour les stratégie d'adaptation S1 et SI.

9.1.2. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070 POUR LES STRATEGIES D'ADAPTATION S1 ET SI

Comparaisons des prélèvements AEP en 2070 entre les scénarios tendanciel et adaptation S1 et SI

En millions de m³



Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011

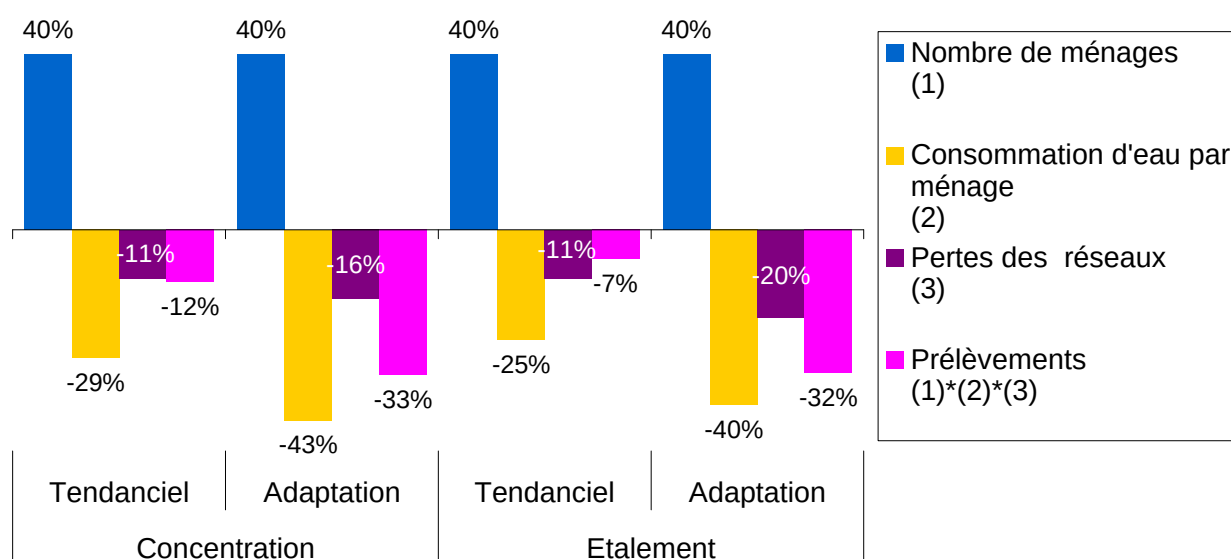
La combinaison des différentes hypothèses énoncées ci-dessus pour les stratégies d'adaptation

S1 et SI avec les évolutions démographiques et les deux variantes d'implantation de l'habitat aboutit à un niveau de prélèvement d'eau potable :

- pour la variante concentration de l'habitat, de 3 935 millions de m³ contre 5 171 millions de m³ pour le scénario « concentration », soit une économie de 1 236 millions de m³ ;
- pour la variante concentration de l'habitat, de 3 960 millions de m³ contre 5 476 millions de m³ pour le scénario « concentration », soit une économie de 1 516 millions de m³.

Contribution des facteurs explicatifs à la variation des prélèvements AEP entre 2006 et 2070

En % sur la période 2006-2070



Source : projections BIPE 2011

Comme le montre le graphique ci-dessus, au cours de la période 2006-2070, l'évolution des prélèvements d'eau potable est de 40% sous l'effet de la croissance du nombre de ménages. Cette progression est contrebalancée :

- pour la variante concentration, par les économies d'eau réalisées par chaque ménage (effets technologique et comportemental) de -43% pour les stratégies d'adaptation S1 et SI (-29% pour le scénario tendanciel) auxquels s'ajoute l'amélioration du rendement des réseaux, qui s'accompagne d'une baisse de 16% (-11% pour le scénario central) ; des prélèvements.
- pour la variante étalement, par les économies d'eau réalisées par chaque ménage (effets technologique et comportemental) de -40% pour les stratégies d'adaptation S1 et SI (-25% pour le scénario tendanciel) auxquels s'ajoute l'amélioration du rendement des réseaux, qui s'accompagne d'une baisse, plus importante que pour la variante

concentration, de 20% (-11% pour le scénario central) ;

Au total, au cours de la période, les prélèvements d'eau potable diminuent d'environ 32% quelque soit le type d'habitat dans les stratégies d'adaptation S1 et SI.

9.2. LES PRESSIONS LIEES A L'INDUSTRIE EVALUEES POUR LA STRATEGIE D'ADAPTATION 1 « SOBRIETE DANS LES USAGES DE L'EAU » ET POUR LA STRATEGIE D'ADAPTATION INTERMEDIAIRE (SI)

9.2.1. LES HYPOTHESES RETENUES

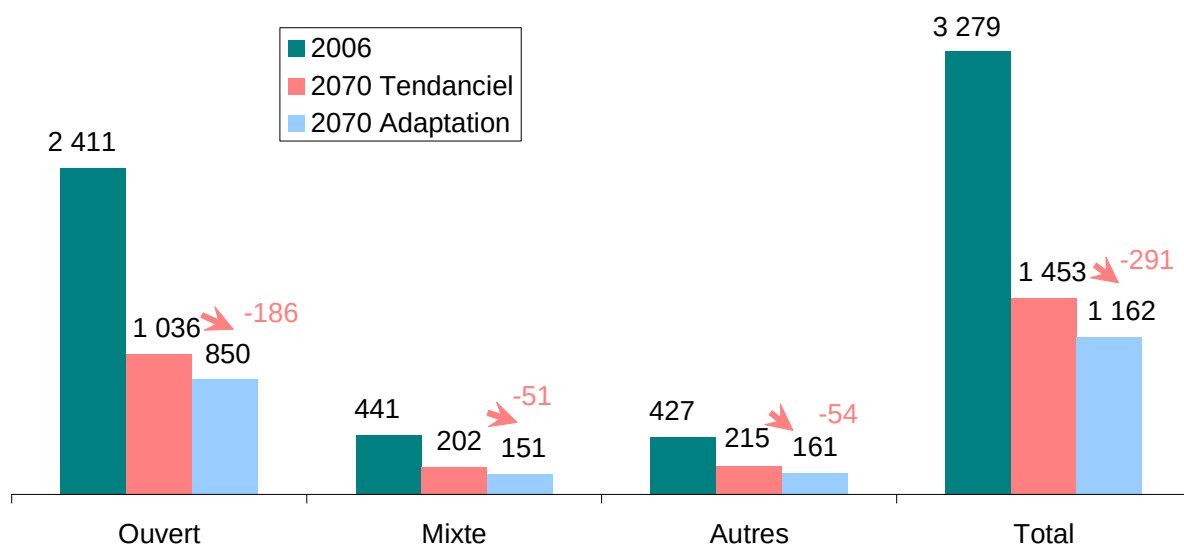
Dans le cadre des stratégies d'adaptation S1 et SI, une réduction des consommations d'eau par l'industrie de 20% par rapport au scénario centrale a été retenue.

9.2.2. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070 POUR LES STRATEGIES D'ADAPTATION S1 ET SI

Les prélèvements d'eau par l'industrie devraient baisser de 1,6% par an en moyenne entre 2006 et 2070 pour les stratégies d'adaptation S1 et SI (1,3% dans le scénario tendanciel), passant de 3 279 millions de m³ en 2006 à 1 162 millions de m³ en 2070 (1 453 millions de m³ dans le scénario tendanciel).

Comparaisons des prélèvements de l'industrie en 2070 entre le scénario tendanciel et les stratégies d'adaptation S1 et SI

En millions de m³



Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011

Le gain de prélèvements d'eau dans l'industrie dans les stratégies d'adaptation S1 et SI par rapport au scénario central est de 291 millions de m³ qui se répartit comme suit : 186 millions pour les sites « ouverts », 51 millions pour les sites « mixtes » et 54 millions pour les sites « autres ».

9.3. LES PRESSIONS LIEES A LA PRODUCTION D'ENERGIE EVALUEES POUR LES HYPOTHESES ENERGIE 1 ET 2 DANS LE CADRE DES STRATEGIES D'ADAPTATION

9.3.1. LES HYPOTHESES ENERGETIQUES RETENUES

Dans le cadre des stratégies d'adaptation deux hypothèses énergétiques ont été retenues :

- Energie 1 (E1) : maintien de la production du nucléaire au niveau actuel : 70% de la production totale d'électricité,
- Energie 2 (E2) : réduction de la part du nucléaire dans la production totale d'électricité à 50% d'ici 2050

Le champ Energie est donc représenté ici par la production d'électricité à partir de centrales nucléaires.

L'hypothèse E1 retient le jeu d'hypothèses suivant :

- une durée de vie des centrales de 50 ans ;
- pour les centrales nucléaires qui ne seront pas situées en bord de mer, tous les circuits de refroidissement seront fermés, sur la base des technologies actuellement connues (c'est une hypothèse conservatrice en termes de performances) ;
- des centrales de type EPR pourraient d'ici 2070 remplacer l'ensemble des centrales actuellement en place ;
- une réduction du nombre de sites de centrales de 19 à 13 avec :
 - une fermeture des centrales sur deux bassins versants : Garonne et Vienne,
 - un maintien des centrales sur la Seine, la Meuse et la Moselle,
 - un regroupement de capacités sur la Loire, le Rhône et le Rhin pour garantir une puissance installée totale inchangée pour la production énergétique à partir des centrales nucléaires.

Pour l'hypothèse E2, les mêmes hypothèses que celles de l'hypothèse E1 sont retenues mais avec moins de tranches nucléaires par site pour que la part de production d'électricité d'origine nucléaire dans la production totale d'électricité ne doive pas dépasser 50% d'ici 2050.

9.3.2. LES RATIOS CLES DE PRELEVEMENTS ET DE CONSOMMATION

Consommation et prélèvement des circuits de refroidissement pour différents types de centrales et types de refroidissement

Technologie	Prélèvement (litres / MWh)	Consommation (litres / MWh)
Centrale nucléaire, boucle ouverte	95 000 - 230 000	~ 1500
Centrale nucléaire, tour de refroidissement	1900 - 4 200	1500- 2725
Centrale nucléaire, bassin	3000 - 4 200	2725
Centrale nucléaire, réfrigérant sec	0	0
Vapeur géothermale, tour de refroidissement	~7 600	~5 300
Centrale fossile/biomasse/déchets, boucle ouverte	76000 - 190 000	~ 1 130
Centrale fossile/biomasse/déchets, tour de refroidissement	1130 - 2300	1130 - 1800
Centrale fossile/biomasse/déchets, bassin	1900 - 2300	~1 800
Centrale fossile/biomasse/déchets, réfrigérant sec	0	0
CCGT ²⁶ , boucle ouverte	28000 - 75500	~400
CCGT, tour de refroidissement	~ 870	~690
CCGT, sec	0	0
CCGI ²⁷ charbon, tour de refroidissement	~950	~760

Source : L'eau et l'énergie : destins croisés - 2010 (tiré de Water & sustainability (volume 3) : US water consumption for power production- the next half century – EPRI 2002

9.3.3. LES RATIOS DE PRELEVEMENTS D'EAU PAR LES CENTRALES NUCLEAIRES

En ce qui concerne les prélèvements moyens, le BIPE a retenu la valeur moyenne observée sur les centrales nucléaires à circuit fermé pour l'année 2006, à savoir 57 m³ par MW installé. Ce ratio sera utilisé pour l'extrapolation des volumes d'eau nécessaires pour le refroidissement des centrales en 2070.

Il est important de remarquer que, si la différence de ratio de prélèvement d'eau (en m³/s ou en m³/MWh) est très importante entre les centrales à circuit ouvert et les centrales à circuit fermé (rapport compris entre 10 et 20), il n'en est pas de même des niveaux de consommation. Dans les faits, les niveaux de consommation d'eau sont, dans le meilleur des cas, identiques en circuit fermé par rapport à ceux des circuits ouverts : le rapport est en fait

²⁶ Centrale à gaz à cycle combiné.

²⁷ Centrale cycle combiné à gazéification intégrée où la part liée au procédé de gazéification n'est pas prise en compte, contrairement à la figure de bilan global qui reprend pour le CCGI les quantités d'eau liées au procédé de gazéification et au refroidissement.

compris entre 1 et 2.

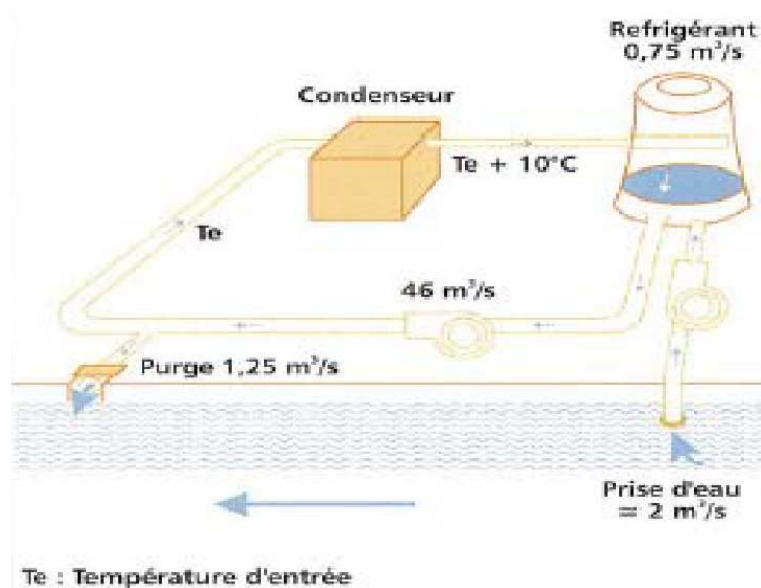
9.3.4. LES RATIOS DE CONSOMMATION D'EAU PAR LES CENTRALES NUCLEAIRES

Dans le cas d'un **circuit ouvert** il y a des pertes en eau, mais minimales par rapport aux prélèvements, environ 0.07 %.

Dans le cas d'un **circuit fermé**, les échanges entre l'air ambiant à l'intérieur des réfrigérants atmosphériques permettent de refroidir l'eau en sortie de condenseurs. Entre 20 et 25% de l'énergie est dissipée par convection (réchauffement de l'air atmosphérique) et de 75 à 80 % par transfert de masse (évaporation de l'air atmosphérique). L'évaporation d'eau dans l'air atmosphérique ainsi que dans les purges réalisées pour limiter la concentration en sels minéraux et en matières organiques qui risqueraient d'entartre les aéro-réfrigérants induisent une perte d'eau dans le circuit de refroidissement qui nécessite des apports d'eau réguliers. Pour un réacteur de 1 300 MWh en fonctionnement nominal, le débit d'appoint (débit prélevé dans le milieu) est de l'ordre de $2\text{ m}^3/\text{s}$. Celui-ci se décompose en un débit de purge de $1,25\text{ m}^3/\text{s}$ et un débit d'eau évaporé (donc consommé) de $0,75\text{ m}^3/\text{s}$. C'est-à-dire une consommation théorique de 37,5% (source Imagine 2030). Dans Explore 2070, nous avons retenu un ratio moyen de 33%.

La mise en place de circuits fermés permet donc de réduire significativement les prélèvements d'eau mais pas les consommations d'eau qui, par contre, augmentent.

Les flux d'eau dans les circuits de refroidissement fermés des centrales nucléaires

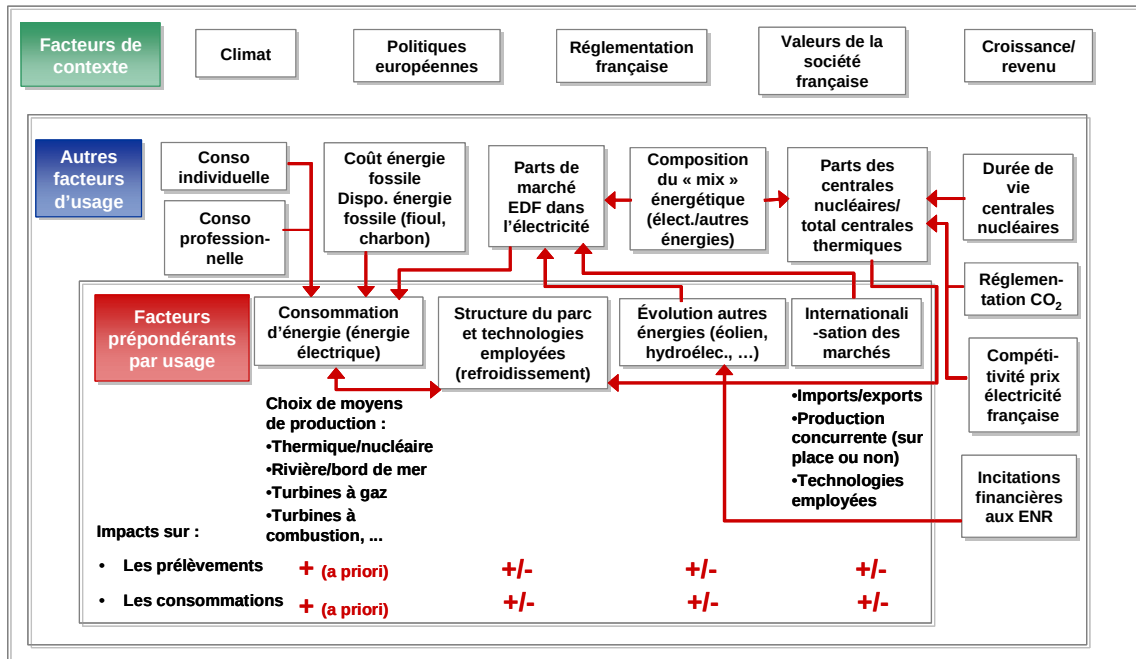


Source : EDF 2007

9.3.5. LE SOUS-SYSTEME PRODUCTION D'ENERGIE (ELECTRICITE)

Le graphe ci-dessous présente le module de prévision des besoins en eau du système énergie, et les hypothèses à formuler.

Le sous-système Énergie



Source : BIPE-GERPA d'après enquêtes - année 2005

9.3.6. LA METHODOLOGIE DE PROJECTION DES PRELEVEMENTS ET CONSOMMATION LIEES A LA PRODUCTION D'ENERGIE

9.3.6.1. LES PRINCIPES DE LA PROJECTION

Les principes de projection des quantités prélevées et consommées par les centrales nucléaires sont basés sur l'estimation de la structure et des caractéristiques du parc de centrales de production d'électricité à l'horizon 2070.

Cette projection s'appuie plus précisément sur l'anticipation de la nature de ces centrales, de leur puissance installée, le type de circuit de refroidissement employé et de leur localisation.

9.3.6.2. LES HYPOTHESES RETENUES

Le jeu d'hypothèses retenu, sur lequel s'appuient les projections de prélèvements et de consommations, est synthétisé dans le tableau suivant.

Les facteurs retenus pour la modélisation

Facteurs-clés	Hypothèses Energie 1	Hypothèses Energie 2	Sous-jacents
Durée de vie des centrales nucléaires	50 ans		Augmentation de la durée de vie moyenne des centrales (investissement en cours)
Capacité moyenne des tranches des nouvelles centrales nucléaires	1 500 MW		Capacité comparable aux centrales de type EPR de 3 ^{ème} génération
Nombre de centrales nucléaires en 2070	13 en 2070 au lieu de 19 en 2010		Augmentation de la capacité moyenne des centrales nucléaires
Nombres de tranches	41	26	
Ratio de prélèvement en m3/MW installé	57		Idem qu'en 2006
Circuits de refroidissement	Circuits fermés avec performances comparables à celles d'aujourd'hui		Diminuer les impacts des centrales sur les prélèvements d'eau.
Ratio de consommation (en % du volume prélevé)	Toutes les centrales situées en bord de rivière sont en circuit fermé : 33 % de consommation/prélèvement		Pas de changement de technologie des tours réfrigérantes (aéro-réfrigérant classique)
Choix de localisation des centrales	Mêmes emplacement qu'actuellement avec effacement de certains sites		Pas besoin de rechercher de nouvelles implantations

Sept éléments clés sont donc désormais à prendre en compte pour projeter à long terme le parc de centrales nucléaires afin d'anticiper les besoins en prélèvements et en consommation d'eau :

Durée de vie des centrales : l'hypothèse d'une durée de vie des centrales de 50 ans est retenue. Actuellement, la durée de vie des centrales est en moyenne de 40 ans et l'exploitant (EDF), compte tenu des investissements en cours et prévus, pense prolonger la vie des centrales d'ici le moyen terme.

Nature des circuits de refroidissement : pour les centrales nucléaires qui ne seront pas situées en bord de mer, tous les circuits de refroidissement seront fermés, sur la base des technologies actuellement connues (donc pas d'amélioration en matières de taux de consommation/prélèvements). Il s'agit, pour ce dernier point, d'une hypothèse conservatrice

en termes de performances, qui permet de prévoir un niveau élevé de consommation d'eau (fourchette haute), dans le cadre d'un scénario tendanciel.

Capacité moyenne installée par centrale : des centrales de type EPR de génération 3 auront, d'ici 2070, remplacé l'ensemble des centrales actuellement en place. Pour réaliser la projection, le choix d'une capacité moyenne comparable à celle de l'EPR actuellement en cours de construction à Flamanville, soit 4 500 MW, a été retenu. Cette capacité a été appliquée à toutes les centrales en fonctionnement en 2070.

La capacité totale du parc en place : l'hypothèse d'un maintien de la capacité du parc nucléaire comparable en 2070 à celle installée en 2006 a été choisie (c'est-à-dire 63 GW). Compte-tenu des prévisions d'évolution des besoins d'électricité à cet horizon, et de la production correspondante ; si le parc installé doit produire plus d'électricité que les besoins du marché intérieur, alors la France exportera le surplus d'électricité produit à ses voisins.

Le nombre de centrales nucléaires : le nombre de centrales nucléaires est calculé en divisant la puissance installée prévue en 2070, soit 63 GW avec la capacité moyenne d'une centrale telle qu'elle est anticipée à cette date (soit 4 500 MW par centrale) : au total, il faudra donc 14 centrales nucléaires de 3 tranches de 1 500 MW chacune. Soit 5 centrales nucléaires de moins qu'actuellement.

La localisation des centrales nucléaires : il s'agit là d'un facteur très important, car il détermine le type de milieu de prélèvement (eau de mer ou eau de surface) et parce que le choix n'est pas neutre vis-à-vis de l'équilibre du réseau de transport d'électricité : on veillera donc en première approche à garder une répartition à peu près homogène des futures centrales sur le territoire par rapport à la situation actuelle. Plusieurs hypothèses ont été établies pour déterminer la localisation des centrales nucléaires à l'horizon 2070.

Le renouvellement (reconstruction) des centrales nucléaires à l'endroit même de leur implantation actuelle : pour éviter les difficultés liées au choix et à l'acceptation de construction ex-nihilo de ce type d'installation. Le parc de centrales sera moins important en unité en 2070 qu'en 2006, puisqu'il comportera 5 centrales en moins. Il s'agira donc de prioriser le renouvellement des centrales en bord de mer (car elles puisent très peu en rivière ou en nappe).

L'exercice consistera à choisir entre les localisations où les centrales pourront être définitivement arrêtées sans renouvellement et celles où les centrales seront reconstruites. Il

faut en fait seulement **choisir les centrales situées en bord de rivière qui ne seront pas reconstruites (« effacement »)**. Le choix de la non reconstruction d'une centrale en bord de rivière sera lié :

- **Au faible débit de la rivière** (Vienne) ou à des **conflits d'usage** déjà existants aujourd'hui **sur un fleuve** (Garonne) : ainsi, nous faisons l'hypothèse que les centrales de Civaux et de Golfech ne seront pas reconstruites ;

Au fait **qu'un fleuve supporte déjà aujourd'hui de nombreuses installations nucléaires** (cas de la Loire), et que le renouvellement de centrales sur la base d'une augmentation des capacités installées aboutit à un maintien des capacités actuelles (9000 MW) avec des installations moins nombreuses : 2 centrales nucléaires suffiront à produire l'équivalent de l'électricité produite actuellement par les 4 centrales situées en bord de Loire. Les centrales de Belleville-sur-Loire et de Saint-Laurent-Nouan seront effacées. Ailleurs, les centrales de bord de Loire seront renouvelées : Chinon et Dampierre ;

- La centrale située sur la Moselle (Cattenom) sera également fermée.
- Fermeture de la centrale de Fessenheim sur le Rhin

Les centrales situées sur le Rhône seront également renouvelées sur place, avec pour chacune une augmentation de capacité.

- C'est-à-dire, les 4 centrales situées en bord du Rhône. Sur ce fleuve, les renouvellements seront effectués sur la base de capacités notoirement supérieures à la situation actuelle, ce qui entraînera pour Le Bugey, Cruas, Saint-Maurice L'exil et Saint-Paul Trois Châteaux :
 - une augmentation très forte des capacités installées entre 2006 et 2070 de 13 400 MW en 2006 à 21 000 MW dans l'hypothèse énergétique 1 ;
 - une baisse des capacités installées entre 2006 et 2070 de 13 400 MW en 2006 à 12 000 MW dans l'hypothèse énergétique 2.
- Le renouvellement des centrales de Nogent-sur-Seine (prélèvement dans la Seine) et de Chooz (prélèvement dans la Meuse), en lieu et place de leur implantation actuelle, s'explique par le caractère stratégique de leur situation (Nogent-sur-Seine alimente Paris) et à l'équilibrage des lieux de production par rapport aux lieux de consommation. Dans le Nord Est de la France, l'augmentation de la capacité de la centrale de Chooz à l'occasion de son renouvellement et l'arrêt de la centrale de

Cattenom entraînera une augmentation de capacité.

C'est dans le sud-ouest que les arbitrages présentés ci-dessus en matière de localisation/fermetures de sites peuvent entraîner un déficit de production. Les capacités cumulées de la centrale du Blayais et de Golfech sont de 6 200 MW et la non reconstruction de la centrale de Golfech ne sera pas compensée par l'augmentation de la capacité installée sur Le Blayais (4 500 MW).

En matière de localisation des capacités, il pourrait donc y avoir des hypothèses complémentaires à formuler afin d'ajuster et de rééquilibrer les capacités à l'échelle du territoire français (augmentation des capacités sur les centrales de bord de mer, baisse des capacités sur le Rhône ...) en regard des lieux de consommation d'électricité (en 2070) et de la structure des réseaux de transport d'électricité.

Au total, la projection s'appuie donc sur un échéancier de renouvellement des centrales actuellement existantes, sur la base d'une durée de fonctionnement de 50 ans par rapport à leur année de démarrage (année moyenne entre l'ouverture des premières et des dernières tranches, durée qui peut être étalée sur 5ans).

Les prélèvements et les consommations d'eau de chaque centrale sont équivalents à la moyenne observée sur la période 2002-2006 jusqu'à l'année de sa reconstruction.

Lors de leur renouvellement, on applique à l'année de son re-démarrage de la centrale un prélèvement moyen de 57 m³ par MW installé soit 256 500 m³ par an par centrale (57 m³/MW X 4 500 MW par centrale). Ce nouveau volume de prélèvement est maintenu stable depuis l'année de démarrage de la nouvelle centrale jusqu'en 2070 (aucune nouvelle centrale de type EPR de génération 3 n'atteindra sa fin de vie d'ici 2070).

Les niveaux de prélèvements d'eau constatés en 2006 sont maintenus stables jusqu'à la date de renouvellement de la centrale (compte-tenu de son année de démarrage). Au moment de sa reconstruction, le nouveau ratio de prélèvement est appliqué de manière systématique. L'évolution des quantités d'eau prélevées à l'échelle du parc est donc établie par la superposition des courbes de prélèvements (âge) de chacune des centrales, tel qu'il vient d'être défini entre 2006 et 2070. C'est-à-dire, pour chacune des centrales deux niveaux de prélèvements différents : un niveau avant renouvellement et un niveau après renouvellement (on observera un palier net entre ces deux dates).

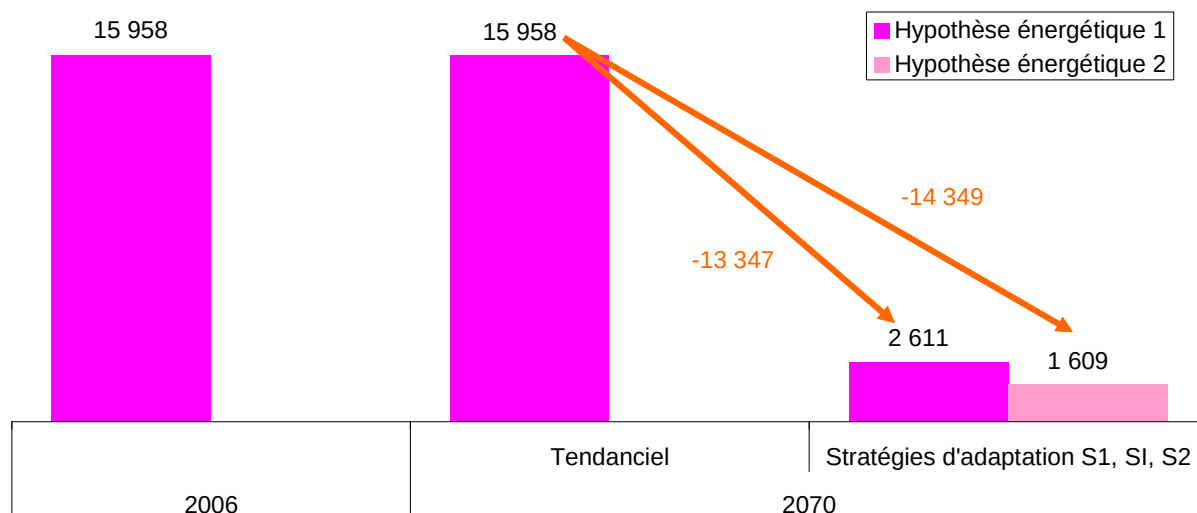
Le prélèvement est effectué sur le lieu d'implantation actuelle des centrales lorsqu'il est prévu que la centrale sera renouvelée. Pour les centrales qui ne seront pas renouvelées à leur fin de vie, le niveau de prélèvement descend à 0 dès cette date.

9.3.7. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070

Les prélèvements d'eau par les centrales nucléaires projetés à l'horizon 2070 sont de 2,6 milliards de m³ pour l'hypothèse énergétique 1 et de 1,6 milliards de m³ pour l'hypothèse énergétique 2, contre 16 milliards de m³ en 2006.

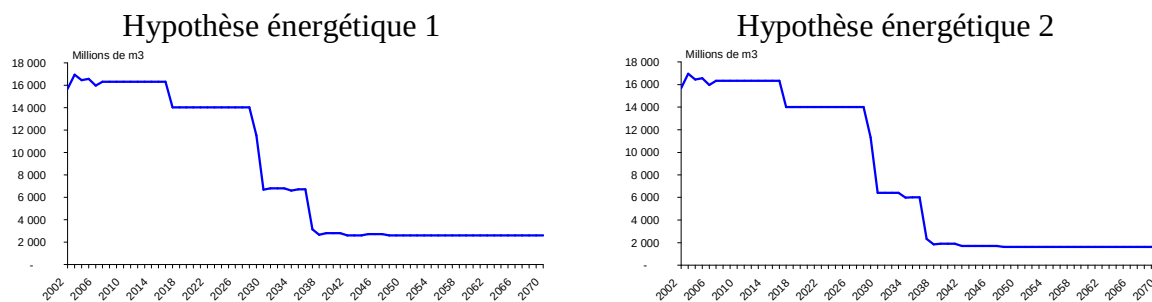
Volumes d'eau prélevés pour l'énergie nucléaire en 2070 selon l'hypothèse énergétique retenues

Millions de m³



Les prélèvements devraient baisser, comme le montre le graphique ci-dessous, par palier en liaison avec la fermeture des centrales et la reconstruction de nouvelles centrales équipés de circuits de refroidissement fermés. Les niveaux de prélèvements de 2,6 milliards de m³ (hypothèse énergétique 1) et de 1,6 milliards de m³ (hypothèse énergétique 2) seront atteints en 2038 et se maintiendront jusqu'en 2070.

Evolution du volume d'eau total prélevé par les centrales nucléaires de 2002 à 2070

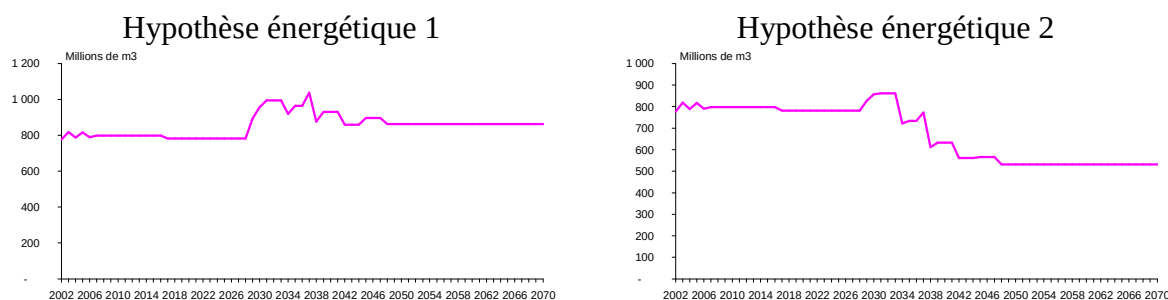


Les quantités d'eau consommées par les centrales nucléaires devraient :

- se maintenir, dans l'hypothèse énergétique 1, autour de 800 millions de m³ de 2006 à 2028 ; augmenter par la suite pour atteindre 1 000 millions de m³ en 2037 et revenir à 860 millions de m³ à partir 2048.
- se maintenir, dans l'hypothèse énergétique 2, autour de 800 millions de m³ de 2006 à 2028 ; augmenter par la suite pour atteindre 860 millions de m³ en 2033 et revenir à 530 millions de m³ à partir 2048.

Ce profil s'explique par la montée de l'utilisation de circuits de refroidissement fermés plus consommateurs en eau.

Evolution du volume d'eau total consommé par les centrales nucléaires de 2002 à 2070



9.4. LES PRESSIONS LIEES A LA PRODUCTION AGRICOLE (IRRIGATION) EVALUEES POUR LES STRATEGIES D'ADAPTATION S1, SI ET S2

9.4.1. LES HYPOTHESES RETENUES

Sur le volet agricole, il est supposé le maintien actuel des deux principaux piliers de la PAC

avec une poursuite de l'orientation des aides du premier vers le second pilier. Les prix agricoles aux producteurs sont supposés garantis car protégés par les filets de sécurité européens et les marchés mondiaux favorables.

La stratégie d'adaptation 1 (S1) « sobriété dans les usages de l'eau » se traduit par la conversion de la superficie totale en maïs irrigué en : 50 % céréales sèches, 30% blé irrigué, 10% soja irrigué et 10% céréales irriguées.

La stratégie d'adaptation intermédiaire (SI) se traduit :

- par la conversion de 50% du maïs irrigué en : 25 % céréales irriguées et 25 % céréales sèches,
- par la conversion de 20% du blé tendre sec en blé tendre irrigué au nord de la Loire.

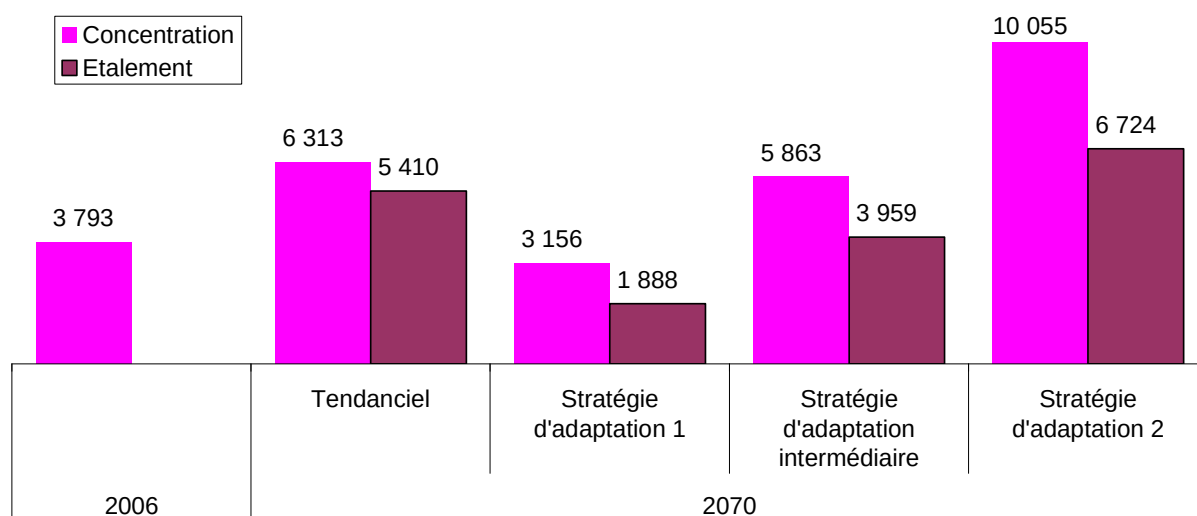
Stratégie d'adaptation 2 (S2) « augmentation des besoins en eau » se traduit :

- par la conversion de 20% du blé tendre sec en blé tendre irrigué au nord de la Loire,
- par l'augmentation jusqu'au double au maximum de toutes les superficies irriguées au sud de la Loire.

9.4.2. LES RESULTATS DES PROJECTIONS A L'HORIZON 2070 POUR LES STRATEGIES D'ADAPTATION S1, SI ET S2

Volumes d'eau prélevés pour l'irrigation en 2070 selon la stratégie d'adaptation retenue

Millions de m³



Source : Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011 et Energies Demain pour l'agriculture

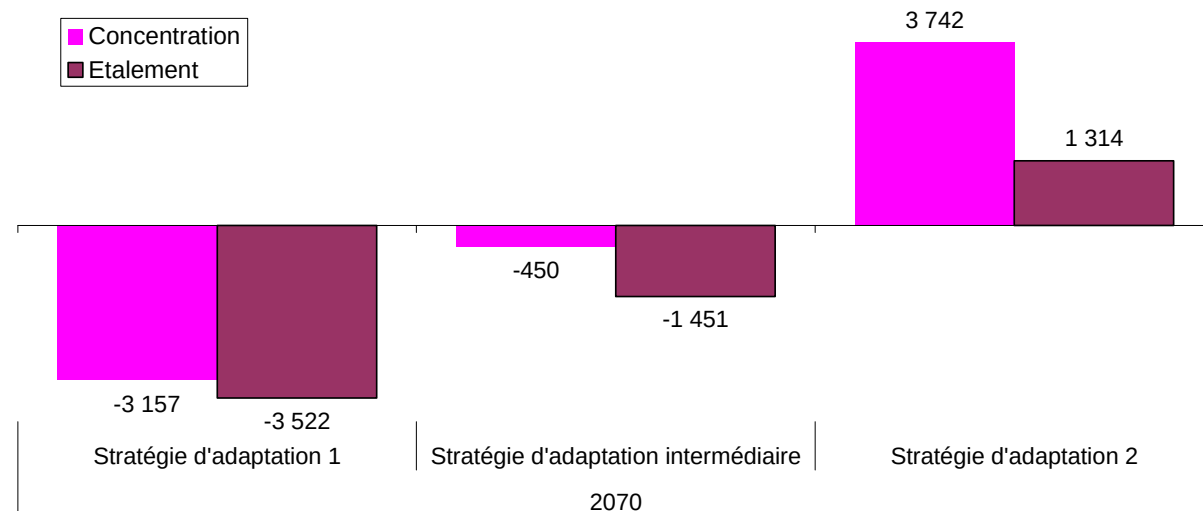
Compte tenu des choix en termes d'assolements, les prélèvements d'eau pour l'irrigation sont très contrastés selon la stratégie privilégiée, ce contraste étant accentué par les choix d'occupation de l'espace par l'habitat (concentration vs étalement). Au total, selon la stratégie mise en œuvre, les prélèvements d'eau par rapport au scénario tendanciel :

- sont, pour la variante « concentration », en diminution de 3,1 milliards de m³ pour S1, quasi stable pour SI mais en hausse de 3,8 milliards pour S2 ;
- sont, pour la variante « étalement », en diminution respectivement de 3,5 milliards de m³ et de 1,4 milliards de m³ pour S1 et SI mais en hausse de 1,3 milliards pour S2.

Néanmoins, les prélèvements d'eau pour l'irrigation sont systématiquement inférieurs dans la variante « étalement » par rapport à la variante « concentration » : les écarts étant de -1.3 milliards de m³, -1,9 pour SI et -3,4 pour S2.

Ecarts de volumes d'eau prélevés pour l'irrigation en 2070 entre les stratégies d'adaptation et le scénario tendanciel

Millions de m³



Source : Source : Agences de l'Eau – SOeS et projections BIPE 2011 et Energies Demain pour l'agriculture