

EFFETS SANITAIRES DES COMBUSTIBLES FOSSILES

-
-
-
-
-
-
-
-

Hervé NIFENECKER
Conseiller Scientifique à l'IN2P3/CNRS

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

Sommaire

-
-
-
-
-
-

Table

[Effets sanitaires des combustibles fossiles](#)

[Remarque liminaire](#)

[Les guerres de l'énergie](#)

[Risques sanitaires comportementaux et environnementaux](#)

[les risques de production, de transport et de distribution](#)

[La production et le transport du pétrole et du gaz](#)

[L'extraction du Charbon](#)

[Les accidents domestiques](#)

[Risques dus à la pollution atmosphérique.](#)

[Les composants de la pollution atmosphérique](#)

[Effets sanitaires de la pollution atmosphérique](#)

REMARQUE LIMINAIRE

Les premiers relecteurs de cet ouvrage avaient trouvé étrange que, alors que les effets environnementaux et sanitaires de l'énergie nucléaire étaient largement abordés et discutés dans le chapitre 22 de R.Masse, ceux dus aux combustibles fossiles ne l'étaient que de façon indirecte dans le chapitre 28 de A.Rabl et D.Spadaro. Cette remarque nous a paru judicieuse et le présent chapitre tend à réparer ce manque. Toutefois faute d'avoir trouvé un spécialiste de la question, c'est à un des éditeurs qu'est échue la tâche de le rédiger. Il s'agit donc d'un travail de compilation qui ne saurait avoir l'ambition ni de l'originalité, ni de l'exhaustivité. De plus les informations en notre possession peuvent ne pas être les plus récentes. Nous espérons que le lecteur voudra bien nous accorder son indulgence.

Dans ce qui suit nous ne discuterons pas, sauf incidemment, des effets globaux et à long terme de l'usage des combustibles fossiles comme l'augmentation de l'effet de serre, cette question étant amplement traitée dans les chapitres 5 et 6 par J.L.Bobin et L.Li. De même, nous nous concentrerons sur les effets sanitaires de l'utilisation des combustibles fossiles sans aborder des effets environnementaux comme les marées noires qui pour catastrophiques pour l'environnement marin ou fluvial qu'ils puissent être ne produisent, en général, que peu d'effets sanitaires sur l'homme.

LES GUERRES DE L'ENERGIE

De tous temps les civilisations se sont construites grâce à la domestication de l'énergie. Dans l'antiquité cette énergie était, essentiellement, fournie par la main d'œuvre humaine dont la force fut, rapidement, démultipliée par des machines, leviers, poulies, moufles etc. Dans les civilisations babylonienne, assyrienne, grecque et, surtout, romaine cette main d'œuvre était essentiellement servile. Dès cette époque on peut considérer que l'un des buts de guerre essentiels était de se procurer des esclaves. Ne serait-ce pas dans cette recherche de sources d'énergie qu'il faudrait trouver la motivation profonde des impérialismes grec et romain ? Et, en même temps, l'essoufflement de la civilisation romaine ne serait-il pas dû à l'épuisement des gisements humains consécutif à la stabilisation du limes ? Sans doute, donc, dès l'antiquité la recherche de l'énergie était elle un but de guerre important. Elle l'était dans la mesure où les sources d'énergie n'étaient pas disponibles sur place. Au Moyen Age occidental comme en Chine l'attachement de la main d'œuvre à la terre de même que le développement des énergies animales (bœufs puis chevaux) et renouvelables (moulins à vent et à eau) semblent avoir laissé la question énergétique hors du champ belliqueux. On sait que l'ère industrielle commença avec la machine à vapeur qui, d'une part multiplia la productivité du travail, d'autre part déclencha une course à l'énergie. C'est l'alliance entre la machine à vapeur et le charbon qui fit de l'Angleterre la grande puissance industrielle du 19^{ème} siècle. Le charbon, encore, permit aux USA, à l'Allemagne et à la France de la concurrencer. Les mines de charbon du Nord et de l'Est de la France comme celle de la Sarre et de la Ruhr furent un des enjeux capitaux des conflits franco-allemands. Le charbon ne fut pas étranger à la ruée vers l'Est des nazis pour le contrôle des mines polonaises et russes tout comme à l'expansion nippon vers la Mandchourie. La deuxième guerre mondiale fut aussi une des premières guerres pour le pétrole, celui de Roumanie comme celui du Caucase pour les Allemands, celui d'Indonésie pour les Japonais. Aux guerres pour le charbon succédèrent donc celles pour le pétrole parmi lesquelles citons celle du Biafra, celle ayant mis aux prises Arménie et Azerbaïdjan, celle de Tchétchénie, celles du Golfe (1 et 2). Ajoutons que si les guerres ont été les plus meurtriers des moyens de s'assurer la ressource énergétique, les autres moyens « plus doux » consistant à soudoyer des régimes corrompus ont aussi eu des conséquences catastrophiques pour les populations.

En conclusion lorsque des ressources énergétiques sont à la fois nécessaires, sans substituts faciles et non disponibles localement en quantités suffisantes elles créent des situations de dépendance qui se traduisent souvent par des conflits ou des prises de contrôle politique. Ce fut le cas pour la main d'œuvre servile de l'antiquité, pour le charbon puis, à l'époque actuelle pour le pétrole, peut-être demain pour le gaz et l'hydraulique. Le nombre de victimes de ces conflits atteint sûrement plusieurs millions ! Inversement notre civilisation démocratique et relativement égalitaire ne se conçoit pas sans une

ressource énergétique abondante. Qui accepterait de revenir au servage ou à l'esclavage (ce dernier n'a disparu de nos sociétés qu'il y a moins de 150 ans puisqu'il fut à l'origine de la prospérité du Sud des Etats-Unis, du Brésil et des colonies Caraïbes). Dans l'avenir il est probable que le pétrole demeurera longtemps la ressource énergétique susceptible de provoquer le plus grand nombre de conflits, et donc des centaines de milliers de victimes. Le gaz pourrait aussi donner lieu à chantage économique dans la mesure où nos économies en dépendent de façon croissante et que sa répartition mondiale est aussi inhomogène que celle du pétrole. L'abondance des sources de charbon semble rendre peu probables de nouvelles guerres du charbon. L'hydraulique crée dès à présent des tensions entre pays riverains du même fleuve, tensions qui risquent de s'aggraver à mesure que la question des ressources en eau deviendra de plus en plus épineuse. Avec la technique actuelle des réacteurs à eau bouillante ou sous pression c'est la disposition de l'Uranium enrichi qui risque de poser problème. Cette question est intimement liée à celle de la prolifération. Les puissances nucléaires actuelles pourraient ne pas accepter la généralisation des usines de séparation d'isotopes. L'exemple récent de l'Irak montre bien que la disponibilité d'Uranium enrichi peut devenir un casus belli. En ce qui concerne la ressource en Uranium naturel proprement dite il est très peu probable qu'elle donne lieu à des conflits car elle a peu d'importance dans le prix de l'électricité nucléaire et est relativement abondante avec une production qui pourrait augmenter rapidement. Dans l'hypothèse de réacteurs sur-générateurs la question de la rareté de la ressource ne se posera même plus. Là encore les conflits possibles seraient liés à la question de la prolifération et donc relativement indépendants de la production d'électricité.

RISQUES SANITAIRES COMPORTEMENTAUX ET ENVIRONNEMENTAUX

Si l'on omet la question du contrôle des sources d'énergie discutée ci-dessus il faut encore considérer les dégâts humains causés par l'exploitation des mines et des puits, les accidents dus aux explosions et incendies et les émissions polluantes.

Il faut toutefois rappeler que la production^[1] d'énergie ne fait pas que causer des morts et des maladies, elle est un facteur capital pour l'état de santé général de la population. Un raisonnement de type coûts-avantages est toujours nécessaire si l'on veut se forger une idée valable de l'intérêt de la production d'énergie. En particulier un tel raisonnement montre que la valeur d'usage (l'utilité réelle) du kWh ou de la tep est très différente dans un contexte d'extrême rareté, comme dans de nombreux pays pauvres et dans un contexte d'abondance comme dans les pays développés. La même quantité d'énergie peut ainsi servir à actionner la pompe d'un puits fournissant de l'eau, indispensable à la vie, ou à laisser en veille un poste de télévision ou un ordinateur personnel, pratique dont l'intérêt est pour le moins discutable.

Enfin il est éclairant de replacer les effets éventuellement nocifs de la production d'énergie dans un contexte plus général des risques que nous courons du fait de notre comportement ou de notre environnement. Ceci est possible grâce, par exemple, aux rapports de l'Organisation Mondiale de la Santé dont nous résumons ici quelques conclusions du rapport 2002^[1]. Le Tableau 1 donne une estimation du nombre de décès prématurés évitables liés soit à des comportements, soit à des facteurs environnementaux. On constate tout d'abord que près des trois quarts des morts sont prématurées ! En réalité la mort prématurée d'un enfant n'a évidemment pas le même sens que celle d'un vieillard proche de sa fin naturelle. On voit ainsi que les causes principales de mortalité en Afrique sont la malnutrition infantile, les maladies sexuellement transmissibles, au premier rang desquelles le SIDA, et les risques environnementaux. Au contraire, dans les pays développés, les risques dominants correspondent à une alimentation déséquilibrée et à l'abus de drogues licites comme le tabac et l'alcool. Ces deux types de causes de mortalité prématurée doivent se traduire de manières très différentes sur l'espérance de vie. C'est bien ce que montre le Tableau 2 où le nombre d'années de vie perdues rapporté à chaque habitant est reporté pour

	Monde	Afrique	Amérique du Nord	Amérique Latine	Moyen Orient	Europe de l'Ouest	Europe Autre	Asie Sud-Est	Asie OCDE	Autre Asie Pacifique
	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers
Population	6 122 210	655 476,512	328 176	509 790	493 091	412 512	461 665	1 559 809	154 919	1 546 770
Total mortalité	56 554	10 681	2 748	3 163	4 157	4 076	6 574	14 466	1 160	10 476
Total mortalité évitable	40 569	7 556	2 069	2 000	2 844	2 743	6 574	9 978	576	6 218
Malnutrition infantile	6 157	2 898	5	106	735	5	31	2 088	0	290
Malnutrition infantile %	15	38	0	5	26	0	0	21	0	5
Sous poids	3 748	1 768	0	50	468	0	17	1 256	0	189
manque de Fer	841	271	5	33	87	5	10	358	0	73
Manque de Vitamine A	778	473	0	9	87	0	0	192	0	16
Manque de Zinc	789	386	0	14	93	0	4	282	0	12
Autres risques alimentaires	18 796	893	1 318	1 124	1 219	1 982	4 741	4 083	367	3 070
Autres risques alimentaires %	46	12	64	56	43	72	72	41	64	49
Hypertension	7 141	410	370	372	468	679	1 755	1 459	161	1 469
Cholesterol	4 415	175	350	186	297	547	1 185	1 107	78	487
Sur poids	2 591	89	272	294	189	380	725	254	41	347
Manque de fruits et légumes	2 726	126	171	153	141	170	628	792	45	501
Inactivité Physique	1 922	93	155	119	124	206	448	471	42	266
Risques sexuels	2 886	2 160	16	77	76	12	25	463	3	54
Risques sexuels %	7	29	1	4	3	0	0	5	1	1
Rapports non protégés	2 886	2 160	16	77	76	12	25	463	3	54
Drogues	6 916	390	668	513	230	673	1 507	1 401	175	1 359
Drogues %	17	5	32	26	8	25	23	14	30	22
Tabac	4 907	160	646	227	186	676	929	1 110	177	798
Alcool	1 804	223	5	274	16	-20	551	229	-5	531
Drogues interdites	204	7	17	12	28	17	27	62	3	30
Risques environnementaux	4 536	1 102	32	139	493	30	184	1 562	18	969
Risques environnementaux %	11	15	2	7	17	1	3	16	3	16
Eau et hygiène	1 730	608	1	54	270	1	17	699	0	77
Pollution de l'air urbain	799	32	28	35	59	23	84	164	18	355
Pollution intérieure par combustion	1 619	392	0	26	118	0	21	559	0	503
Plomb	234	16	3	24	25	6	62	66	0	31
Changement climatique	154	54	0	0	21	0	0	74	0	3
Risques professionnels	699	43	28	37	45	39	68	164	9	259
Risques professionnels %	2	1	1	2	2	1	1	2	2	4
Blessures	310	34	3	20	37	4	21	104	2	83
Substances carcinogènes	146	3	12	6	3	19	28	21	5	46
Particules dans l'air	243	6	13	11	5	16	19	39	2	130
Autres risques	580	70	2	4	46	2	18	217	4	217
Injections contaminées	501	67	0	3	44	0	11	182	2	193
Abus sexuels sur les enfants	79	3	2	1	2	2	7	35	2	24
Accidents de la route	1194	179	49	92	103	47	78	353	14	278

Tableau 1

Estimation du nombre de morts prématurées (mortalité) dues (année 2000) aux facteurs de risques comportementaux et environnementaux [2].

	Monde	Afrique	Amérique du Nord	Amérique Latine	Moyen Orient	Europe de l'Ouest	Europe Autre	Asie du Sud-Est	Japon	Asie du Pacifique Autre
	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers
Population	6 122 210	655 476	328 176	509 790	493 091	412 512	461 665	1 559 809	154 919	1 546 770
Total mortalité évitable	40 569	7 556	2 069	2 000	2 844	2 743	6 574	9 978	576	6 218
Total années perdues	637 831	208 143	15 023	26 162	57 178	18 251	60 561	183 338	3 773	65 410
années perdues par décès	16	28	7	13	20	7	9	18	7	11
Malnutrition infantile	205 372	97 397	61	3 382	24 592	41	998	69 256	9	9 639
Malnutrition infantile %	32	47	0	13	43	0	2	38	0	15
Sous poids	126 885	59 848	4	1 697	15 826	2	610	42 550	2	6 348
manque de Fer	25 858	8 695	57	923	2 735	39	261	10 784	7	2 359
Manque de Vitamine A	26 003	15 836	0	302	2 914	0	2	6 407	0	543
Manque de Zinc	26 626	13 018	0	460	3 117	0	125	9 515	0	389
Autres risques alimentaires	152 983	8 995	8 506	10 053	12 020	11 144	36 661	39 134	2 250	24 222
Autres risques alimentaires %	24	4	57	38	21	61	61	21	60	37
Hypertension	55 548	3 937	2 236	3 104	4 326	3 654	13 275	13 251	920	10 848
Cholesterol	34 974	1 720	2 049	1 736	2 897	2 875	8 794	10 736	467	3 699
Sur poids	23 143	1 089	2 095	2 767	2 077	2 357	6 319	2 772	297	3 369
Manque de fruits et légumes	23 477	1 325	1 161	1 393	1 477	1 042	4 901	7 757	290	4 133
Inactivité Physique	15 841	924	965	1 053	1 243	1 216	3 372	4 618	276	2 173
Risques sexuels	76 970	60 012	311	1 717	1 998	189	390	11 288	35	1 031
Risques sexuels %	12	29	2	7	3	1	1	6	1	2
Rapports non protégés	76 970	60 012	311	1 717	1 998	189	390	11 288	35	1 031
Drogues	83 138	6 619	5 688	7 633	3 242	6 358	19 010	18 454	1 277	14 861
Drogues %	13	3	38	29	6	35	31	10	34	23
Tabac	45 622	2 002	4 393	2 155	2 279	4 714	10 125	12 264	952	6 740
Alcool	32 697	4 443	890	5 183	309	1 242	8 253	4 743	249	7 386
Drogues interdites	4 819	174	405	295	654	402	632	1 447	76	735
Risques environnementaux	98 528	32 313	200	2 708	13 603	178	2 330	37 446	95	9 652
Risques environnementaux %	15	16	1	10	24	1	4	20	3	15
Eau et hygiène	49 232	17 836	6	1 529	8 510	7	539	18 475	4	2 326
Pollution de l'air urbain	6 404	432	152	276	635	117	608	1 594	84	2 504
Pollution intérieure par combustion	35 146	12 065	3	571	3 404	0	475	14 240	0	4 389
Plomb	2 801	222	37	292	369	54	699	784	7	337
Changement climatique	4 945	1 758	2	40	685	0	9	2 353	0	96
Risques professionnels	9 970	887	220	597	943	311	906	2 968	82	3 057
Risques professionnels %	2	0	1	2	2	2	1	2	2	5
Blessures	7 107	794	65	473	852	94	482	2 402	36	1 911
Substances carcinogènes	1 376	40	89	63	44	146	284	220	36	454
Particules dans l'air	1 487	53	66	61	47	71	140	346	10	692
Autres risques	10 870	1 920	37	72	780	30	266	4 792	25	2 948
Injections contaminées	9 179	1 856	0	40	697	0	145	3 950	0	2 492
Abus sexuels sur les enfants	1 691	64	37	32	83	30	121	842	25	456

Tableau 2

Estimation du nombre d'années de vie perdues par habitant (YOLL) pendant l'année 2000 en fonction des catégories de risque. L'importance relative des différents risques est également indiquée.

les différentes catégories de risques. On voit ainsi que les Africains voient leur espérance de vie réduite d'un tiers, essentiellement du fait de la malnutrition infantile et de l'impact des MSS. Au contraire, dans les pays développés, l'espérance de vie n'est réduite que de 5%, essentiellement à cause des mauvaises habitudes alimentaires et de l'usage des drogues licites. On remarque que l'ancienne Union Soviétique est caractérisée par de très importants risques liés à de mauvaises habitudes alimentaires et à l'utilisation de drogues, en particulier l'alcool. Ceci est à corrélérer avec l'effondrement de l'espérance de vie depuis la fin du régime communiste. Dans ce contexte les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl ne sont pas visibles. Et pourtant, chaque année, l'anniversaire de la catastrophe donne lieu à des descriptions apocalyptiques dans les médias, alors qu'il est exceptionnel que les conséquences sanitaires beaucoup plus graves et étendues des bouleversements socio-économiques soient simplement mentionnées.

Les risques environnementaux sont particulièrement élevés dans les pays en voie de développement et d'un faible impact dans les pays développés. On ne peut que constater d'après ces tableaux que l'intensité du tapage médiatique sur les dangers qui nous menacent est inversement proportionnel à l'importance de ces dangers ! Elle est, au contraire, proportionnelle à la richesse de ceux qui se sentent menacés...

La production et l'utilisation d'énergie ayant des conséquences environnementales et comportant des risques pour les travailleurs du secteur nous donnons au Tableau 3 un résumé des résultats de l'OMS concernant les risques environnementaux et professionnels. Nous donnons également, pour référence, ceux concernant les accidents de la route. On remarque que l'environnement est un risque relatif beaucoup plus faible dans les pays développés que dans les pays pauvres. En Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest il est beaucoup moins important que celui lié à la circulation automobile. Dans les pays pauvres les risques environnementaux les plus importants sont liés à la mauvaise qualité de l'eau et à l'utilisation de combustibles solides (bois, bouse de vache, charbon), dans des foyers mal conçus, à l'intérieur des maisons aussi bien pour le chauffage que pour la cuisine. Cette dernière utilisation concerne donc directement l'énergie.

	Monde	Afrique	Amérique du Nord	Amérique Latine	Moyen Orient	Europe de l'Ouest	Europe Reste	Asie du Sud-Est	Asie OCDE	Autre Asie Pacifique
	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers	milliers
Total années perdues	637 831	208 143	15 023	26 162	57 178	18 251	60 561	183 338	3773	65410
Risques environnementaux	98528	32313	200	2708	13603	178	2330	37446	95	9 652
Risques environnementaux %	15,45	15,52	1,33	10,35	23,79	0,98	3,85	20,42	2,52	14,76
Eau et hygiène	49232	17836	6	1529	8510	7	539	18475	4	2 326
Eau et hygiène %	7,72	8,57	0,04	5,84	14,88	0,04	0,89	10,08	0,11	3,56
Pollution de l'air urbain	6404	432	152	276	635	117	608	1594	84	2 504
Pollution de l'air urbain %	1,00	0,21	1,01	1,05	1,11	0,64	1,00	0,87	2,23	3,83
Pollution intérieure par combustion	35146	12065	3	571	3404	0	475	14240	0	4 389
Pollution intérieure par combustion %	5,51	5,80	0,02	2,18	5,95	0,00	0,78	7,77	0,00	6,71
Plomb	2801	222	37	292	369	54	699	784	7	337
Plomb %	0,44	0,11	0,25	1,12	0,65	0,30	1,15	0,43	0,19	0,52
Changement climatique	4945	1758	2	40	685	0	9	2353	0	96
Changement climatique %	0,78	0,84	0,01	0,15	1,20	0,00	0,01	1,28	0,00	0,15
Risques professionnels	9970	887	220	597	943	311	906	2968	82	3 057
Risques professionnels %	1,56	0,43	1,46	2,28	1,65	1,70	1,50	1,62	2,17	4,67
Blessures	7107	794	65	473	852	94	482	2402	36	1 911
Blessures %	1,11	0,38	0,43	1,81	1,49	0,52	0,80	1,31	0,95	2,92
Substances cancérigènes	1376	40	89	63	44	146	284	220	36	454
Substances cancérigènes %	0,22	0,02	0,59	0,24	0,08	0,80	0,47	0,12	0,95	0,69
Particules dans l'air	1487	53	66	61	47	71	140	346	10	692
Particules dans l'air %	0,23	0,03	0,44	0,23	0,08	0,39	0,23	0,19	0,27	1,06
Accidents de la route	37719	6313	1348	3171	3585	1251	2266	11179	413	8 196
Accidents de la route (estimé) %	5,91	3,03	8,97	12,12	6,27	6,85	3,74	6,10	10,94	12,53

Tableau 3

Nombre d'années de vie perdues (YOLL), en 2000, du fait des risques environnementaux, professionnels et de circulation. En dessous de ces valeurs nous donnons le pourcentage qu'elles représentent par rapport à la totalité des années perdues toutes causes confondues.

Les risques professionnels contribuent peu à la mortalité prématurée globale. Toutefois cette faible contribution est trompeuse car les risques professionnels concernent une faible proportion de la population. Certaines activités comme l'industrie minière et l'industrie du bâtiment sont particulièrement meurtrières, nous y reviendrons. Par ailleurs les risques liés au changement climatique sont estimés à partir de modèles mathématiques et sont surtout déterminés par la prévalence accrue des maladies tropicales. Elle ne tiennent pas compte des décès récemment observés du fait de la canicule.

Les pays riches consommant plus d'énergie que les pays pauvres alors que, selon le Tableau3, la mortalité associée à la pollution est beaucoup plus faible pour les premiers que pour les seconds, on s'attend à une corrélation négative entre consommation d'énergie et années de vie perdues du fait de la pollution atmosphérique. C'est, en effet ce que montre la Figure 1. Bien entendu cette anti-corrélation ne signifie pas qu'il suffirait d'augmenter la consommation d'énergie pour diminuer les effets de la pollution. En réalité c'est la richesse qui permet à la fois de consommer beaucoup et d'utiliser des techniques propres de production d'énergie. En fait le deuxième facteur a plus d'influence que le premier sur la pollution.

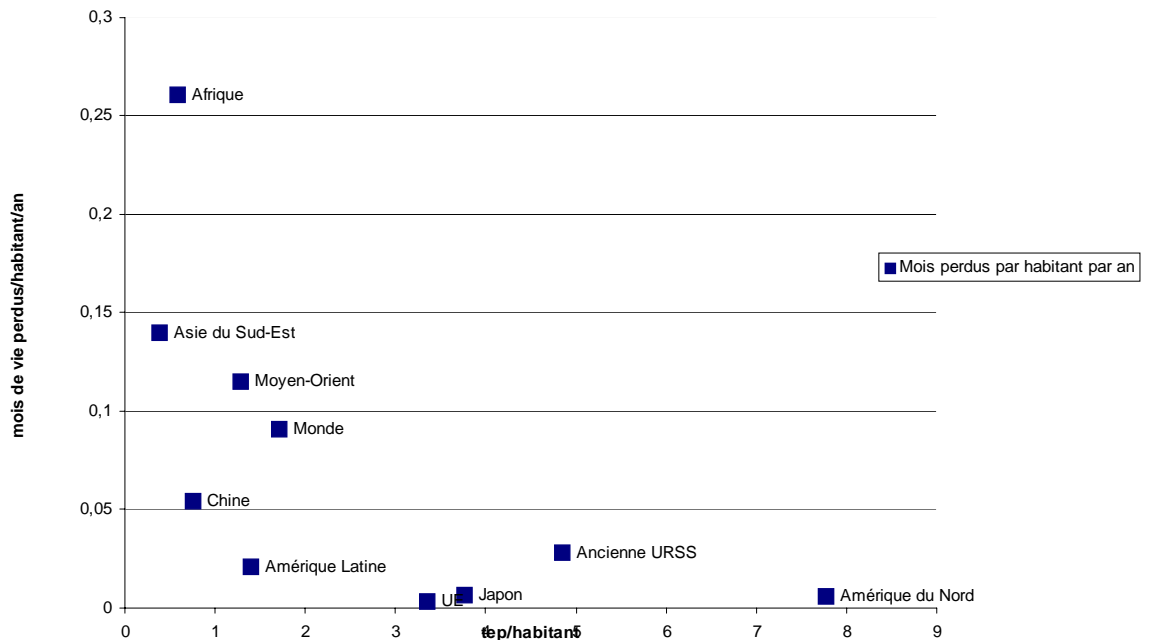


Figure 1

Corrélation entre la perte annuelle d'espérance de vie due à la pollution totale engendrée par la production d'énergie et les transports et la consommation d'énergie par habitant

La Figure 2 montre, qu'en effet, le principal déterminant de la nuisance de la consommation d'énergie est la richesse des pays comme on la mesure approximativement par le Produit Intérieur Brut par habitant (PIB/cap). Les régions à faible niveau de vie se regroupent en deux ensembles bien différenciés. La mortalité due à l'environnement est particulièrement importante pour l'Afrique (sub-saharienne), l'Inde et le Moyen-Orient. Ceci est dû à l'importance des pollutions intérieures aux habitations dans ces pays, liée à l'utilisation de combustibles solides dans des foyers primitifs.

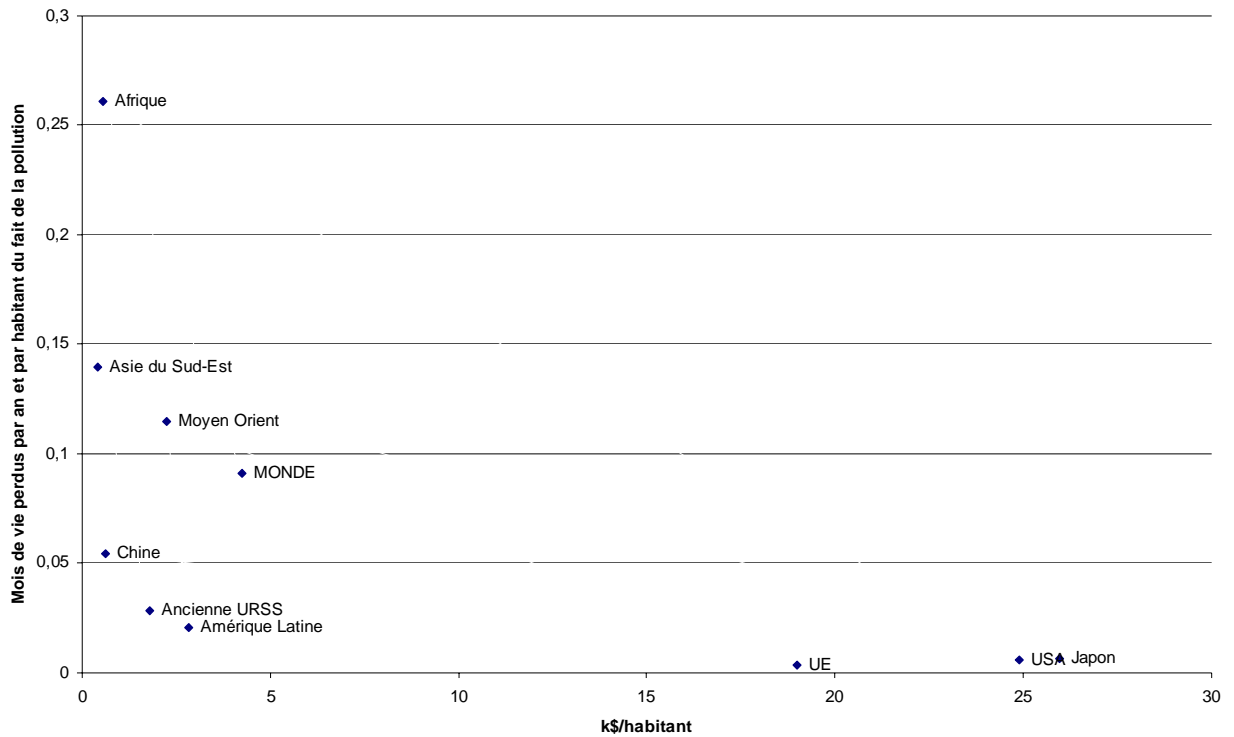


Figure 2

Corrélation entre la perte annuelle d'espérance de vie due à la pollution engendrée par la production d'énergie et le PIB par tête

La **Figure 3** montre, en effet, que la mortalité due à la pollution urbaine dépend relativement peu du niveau de vie. Toutefois elle demeure importante pour la Chine, les pays anciennement communistes et le Moyen Orient. Ceci est probablement dû à la pollution d'origine industrielle avec une utilisation massive de charbon pour la production d'électricité en l'absence de dispositifs anti pollution.

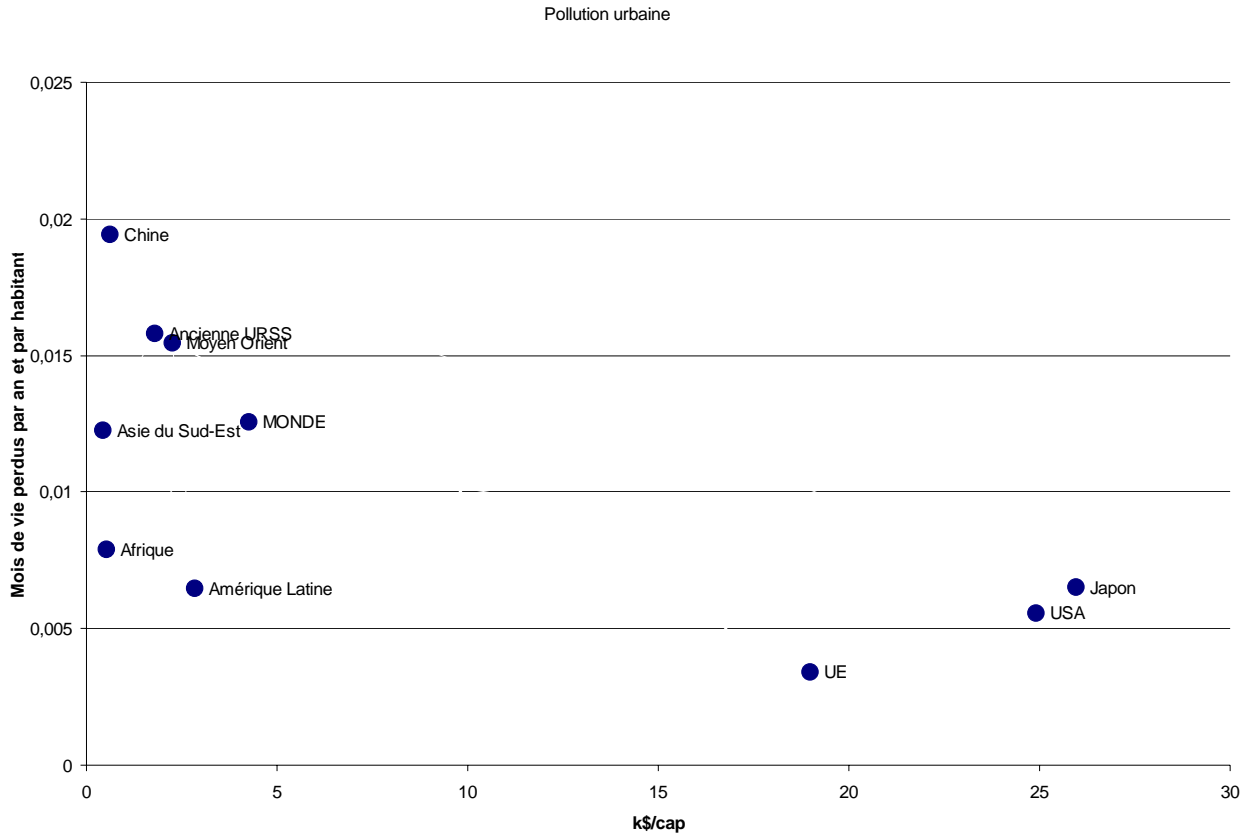


Figure 3

Corrélation entre le PIB par tête et la perte annuelle d'espérance de vie due essentiellement à la pollution urbaine engendrée par la production d'énergie et les transports.

LES RISQUES DE PRODUCTION, DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION

L'ONU a fait une statistique des accidents industriels majeurs survenus entre 1970 et 1998. Cette statistique est présentée sur la Figure 4. Elle distingue les accidents selon le nombre de blessés et selon le nombre de morts. Il s'agit là des victimes observées sur le court terme et, donc, la statistique ne tient pas compte des victimes d'affections se déclarant après un long délai comme le cancer. Elle ne tient pas non plus compte des accidents miniers. On voit sur la Figure 4 que les causes principales de catastrophes sont les explosions et les fuites et émanations de gaz toxiques, avec, respectivement, 6641 et 2948 décès de 1970 à 1998. Soulignons que seules les catastrophes ayant causé plus de 25 morts à court terme ont été retenues. Il est clair que la production et le transport des combustibles fossiles ne sont que partiellement responsables de ces catastrophes.

La production et le transport du pétrole et du gaz

Statistique sur les accidents industriels majeurs 1970-1998. (Source ONU)

Nb morts > 25

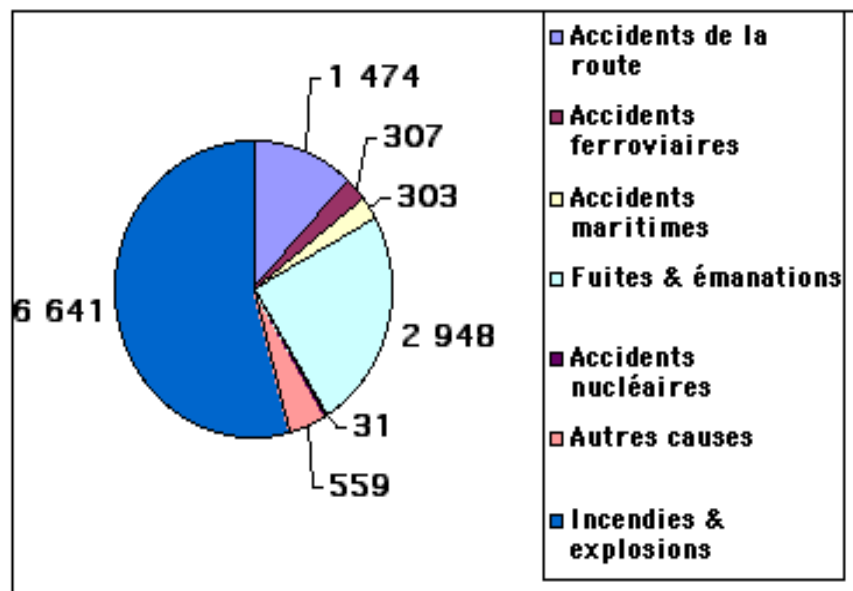


Figure 4

Statistique sur les accidents industriels majeurs de 1970 à 1998.

Le Tableau 4 donne une statistique annuelle des victimes de catastrophes liées à la production et au transport du pétrole et du gaz. Pour comparaison le Tableau donne les chiffres pour quatre catastrophes technologiques majeures, Seveso, Three Mile Island, Bhopal et Tchernobyl. On voit que seule la catastrophe de Bhopal peut se comparer aux dégâts causés par l'industrie gazière et pétrolière, mais, dans ce dernier cas, par la multiplication de catastrophes beaucoup moins importantes et spectaculaires. Là encore on note la distorsion d'optique liée à la surmédiation des catastrophes majeures par rapport aux risques plus modestes mais qui, par leur grande prévalence, finissent par être plus nocifs.

Nombre de victimes dues à des catastrophes liées à la production et au transport de pétrole et de gaz			
Année	Morts	Autres victimes	Evacués
1978	162	582	20000
1979	216	219	
1980	285	338	
1982	187	640	40000
1983	476	321	26000
1984	685	2519	202500
1985	136	119	
1986		2	20000
1987	6	24	
1988	325	66	25000
1990	336	188	
1992	276	21565	500
1993	666	195	
1994	387	309	22000
1995	201	163	10000
1996	329	223	150000
TOTAL	4673	27473	516000
Moyenne annuelle	260	1526	28667
Seveso 1976	0	200	730
TMI 1979	0	0	200000
Bhopal 1984	2800	50 000	200000
Tchernobyl 1986	31	299	135000

Tableau 4

Statistique annuelle des catastrophes (nombre de morts supérieur à 25, ou d'autres victimes supérieur à 125 ou d'évacués supérieur à 10000) dues à la production ou au transport de pétrole ou de gaz. A titre de comparaison on a donné les chiffres correspondant à quatre catastrophes majeures. Le nombre de victimes de maladies se développant longtemps après l'agression telles que les cancers n'est pas donné ici. Ils pourraient être importants pour Bhopal et Tchernobyl. Sources principales OCDE et UNEP (United Nations Environmental Programm).

L'extraction du Charbon

La statistique donnée par le Tableau 4 doit être complétée par celles correspondant à l'industrie minière qui sont, d'ailleurs, discutées au chapitre 9. Nous nous contenterons ici de rappeler celle correspondant aux catastrophes minières selon le « Project Underground » (<http://www.moles.org/ProjectUnderground/drillbits/980407/98040708.html>). Le plus lourd tribut est, sans conteste, payé par les mineurs chinois qui extraient plus d'un milliard de tonnes de charbon chaque année. C'est ainsi que 2000 mineurs furent tués en 1997, et selon Le Courrier International n°671(p.25) 5600 en 2001, 6300 en 2002 et 2798 dans le premier semestre 2003. L'Ukraine et, d'une façon générale, les pays anciennement communistes sont aussi particulièrement frappés : 339 tués en Ukraine en 1995, la moyenne du nombre de mineurs victimes d'accident atteint dans ce pays 1000 pour cent millions de tonnes extraites, soit encore plus qu'en Chine.

Dans les pays développés la mortalité des mineurs est beaucoup plus faible comme on peut le voir dans le chapitre 9 : de 10 (Afrique du Sud) à 1 décès(Australie) pour 100 millions de tonnes extraites. Là encore la richesse permet d'investir dans des mesures de sécurité avec une grande efficacité. La silicose fait, elle aussi de terribles dégâts : entre 1991 et 1995 la Chine a enregistré 500.000 cas de

silicose et 24000 décès, le Viêt-Nam où les conditions d'exploitation sont particulièrement mauvaises compte 9000 silicosés. Là encore des investissements de sécurité tels que l'abattage systématique des poussières peut pratiquement faire disparaître cette maladie professionnelle.

Un problème environnemental spécifique est posé par les mines de charbon désaffectées. Celles-ci peuvent provoquer des effondrements meurtriers. Aux USA le fonds d'entretien de mines abandonnées (AML) dépense plus de 125 millions de dollars par an.

Les accidents domestiques

L'essentiel des accidents domestiques liés à l'utilisation de combustibles fossiles est dû au gaz. Malheureusement et curieusement il est difficile de trouver de bonnes statistiques sur ce sujet. Un exemple de statistique concernant le Royaume Uni est donné dans le Tableau 5. On voit que le nombre annuel moyen de décès dus à l'utilisation du gaz est de l'ordre de 40, les trois quarts étant provoqués par des intoxications. Ce nombre est, évidemment, négligeable devant celui des victimes de la route mais considérable en comparaison de celui causé par l'utilisation de l'énergie nucléaire. Une extrapolation de la statistique britannique aux pays développés conduirait à un nombre annuel de victimes compris entre 500 et 1000, nettement supérieur à celui des catastrophes liées au transport et à la production des combustibles fossiles donné au Tableau 4.

Statistique des victimes d'explosions ou d'intoxications dues au gaz au Royaume Uni																		
Année	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	TOTAL	Moyenne
Nombre de morts																		
Explosion	12	12	6	15	11	8	3	9	4	6	9	8	11	10	8	5	137	8,6
Intoxication par CO	35	48	41	34	30	33	41	29	30	29	31	28	37	26	25	24	521	32,6
Total	47	60	47	49	41	41	44	38	34	35	40	36	48	36	33	29	658	41,1
Autres victimes																		
Explosion	58	72	42	67	48	63	39	52	35	51	35	43	30	61	36	46	778	48,6
Intoxication par CO	85	76	94	88	131	184	176	252	198	141	156	189	194	228	265	152	2609	163,1
Total	143	148	136	155	179	247	215	304	233	192	191	232	224	289	301	198	3387	211,7

Tableau 5

Statistique des accidents domestiques dus au gaz au Royaume Uni.

RISQUES DUS À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE.

La production d'énergie à partir des combustibles fossiles et de la bio-masse est généralement associée à l'émission de polluants atmosphériques. Ceux-ci s'ajoutent à ceux associés aux transports. La part relative de la production d'énergie (électricité et chauffage) dans la pollution atmosphérique dépend beaucoup de l'urbanisme (présence d'industries et de centrales électriques), de la plus ou moins grande vétusté des installations et du parc automobile.

DISTRIBUTION SECTORIELLE DES EMISSIONS EN FRANCE METROPOLITAINE EN 2001

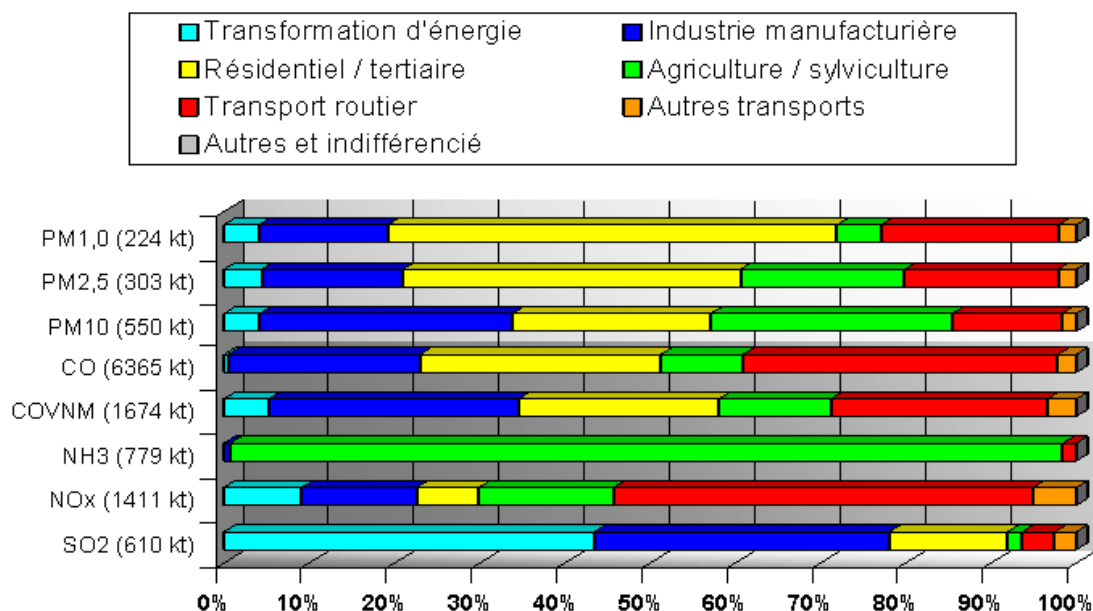


Figure 5

Distribution des émissions polluantes principales en France en 2001. D'après le CITEPA.

La Figure 5 montre les parts relatives des différents secteurs dans les émissions des principaux polluants en France. La faiblesse des émissions du secteur de transformation énergétique est due pour une grande part au fait que la France utilise très peu de combustibles fossiles pour produire son électricité. Elle n'est donc pas représentative de l'ensemble des pays industrialisés. Les conséquences sanitaires des émissions dépendent fortement de la localisation des sources. Les pollutions d'origine agricole ont sans doute peu de conséquences en ce qui concerne les poussières et l'ammoniac. Les usines polluantes sont souvent excentrées par rapport aux grandes agglomérations. Nous verrons, d'ailleurs, que la contribution du secteur industriel a fortement diminué depuis 1960.

Ce sont essentiellement la circulation automobile et le chauffage des locaux qui contribuent à la pollution dans les villes des pays développés. Dans ce qui suit nous ne chercherons pas à spécifier la part de la pollution due à la production d'énergie mais discuterons généralement des différents types de polluants et de leurs effets sur la santé.

Les composants de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est due à des composés gazeux, d'une part, à des particules en suspension, d'autre part. Les composés gazeux polluants primaires principaux sont le monoxyde de Carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), l'ammoniac (NH₃) et les composés organiques volatiles (COV).

Le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et l'ammoniac donnent naissance à des acides responsables, entre autres, des pluies acides, et à des sulfates et nitrates solides ajoutant leurs effets à ceux des autres particules. Ces effets secondaires peuvent se faire sentir très loin de la source primaire comme on a pu le voir pour l'acidification des lacs scandinaves due essentiellement aux émissions allemandes.

Par ailleurs, la pollution photochimique (ou pollution photo-oxydante) conduit à la formation d'ozone et

d'autres composés oxydants (peroxyde d'hydrogène, aldéhydes, peroxy acétyl nitrate...) à partir de polluants primaires (appelés précurseurs) : oxydes d'azote et composés organiques volatils et d'énergie apportée par le rayonnement Ultra Violet solaire. Ces phénomènes ont lieu dans les couches d'air proches du sol et dans la troposphère. L'ozone formé à ce niveau est qualifié de "mauvais ozone" en raison de ses effets néfastes sur la santé humaine et sur les végétaux. Paradoxalement, les concentrations d'ozone mesurées loin des sources des précurseurs (une agglomération par exemple) sont plus élevées que celles mesurées près des sources. En effet, sur une ville par exemple, les émissions de NO (liées au trafic notamment) sont élevées. L'ozone est détruit par le NO. Le NO agit comme un puits d'ozone puisqu'il le consomme. Si le nuage de polluants formé sur la ville se déplace à la campagne, ou les émissions de NO sont moindres, les concentrations d'ozone augmentent puisque l'ozone n'est plus consommé.

On caractérise essentiellement les particules en suspension par leur granulométrie qui se mesure en microns.

Le monoxyde de Carbone et les composés organiques volatiles sont dus à une combustion incomplète soit dans les installations fixes, soit dans les moteurs des véhicules. Ils peuvent être réduits par l'amélioration des rendements, le réglage de la combustion et, dans le cas des moteurs à explosion, l'utilisation de pots catalytiques. Le dioxyde de soufre est dû à la combustion de charbon ou de dérivés du pétrole (fuel en particulier) contenant des impuretés soufrées. Là encore le traitement du pétrole et l'utilisation de techniques propres de combustion du charbon permettent de réduire considérablement les émissions. Ces évolutions sont observées sur les Figure 6 et 7. La mise en œuvre des pots catalytiques et l'utilisation croissante des moteurs diesel à fort rendement expliquent la décroissance rapide des émissions de CO dans le secteur des transports. La même remarque peut être faite en ce qui concerne les COV. La décroissance des émissions de SO₂ est due essentiellement à la purification du combustible, et, dans le cas du secteur énergétique à la mise en œuvre du programme électronucléaire.

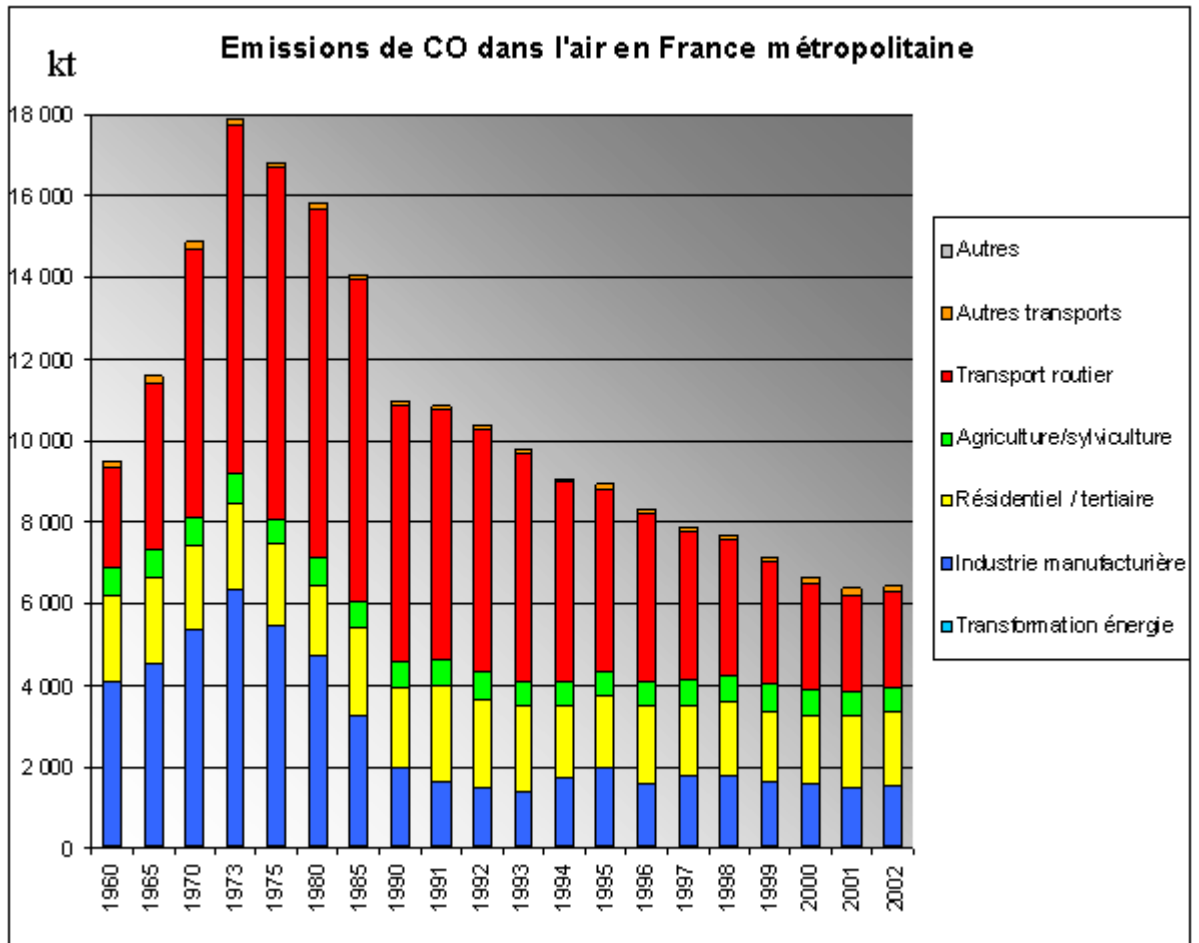


Figure 6

Evolution des émissions de monoxyde de Carbone en France. D'après le CITEPA.

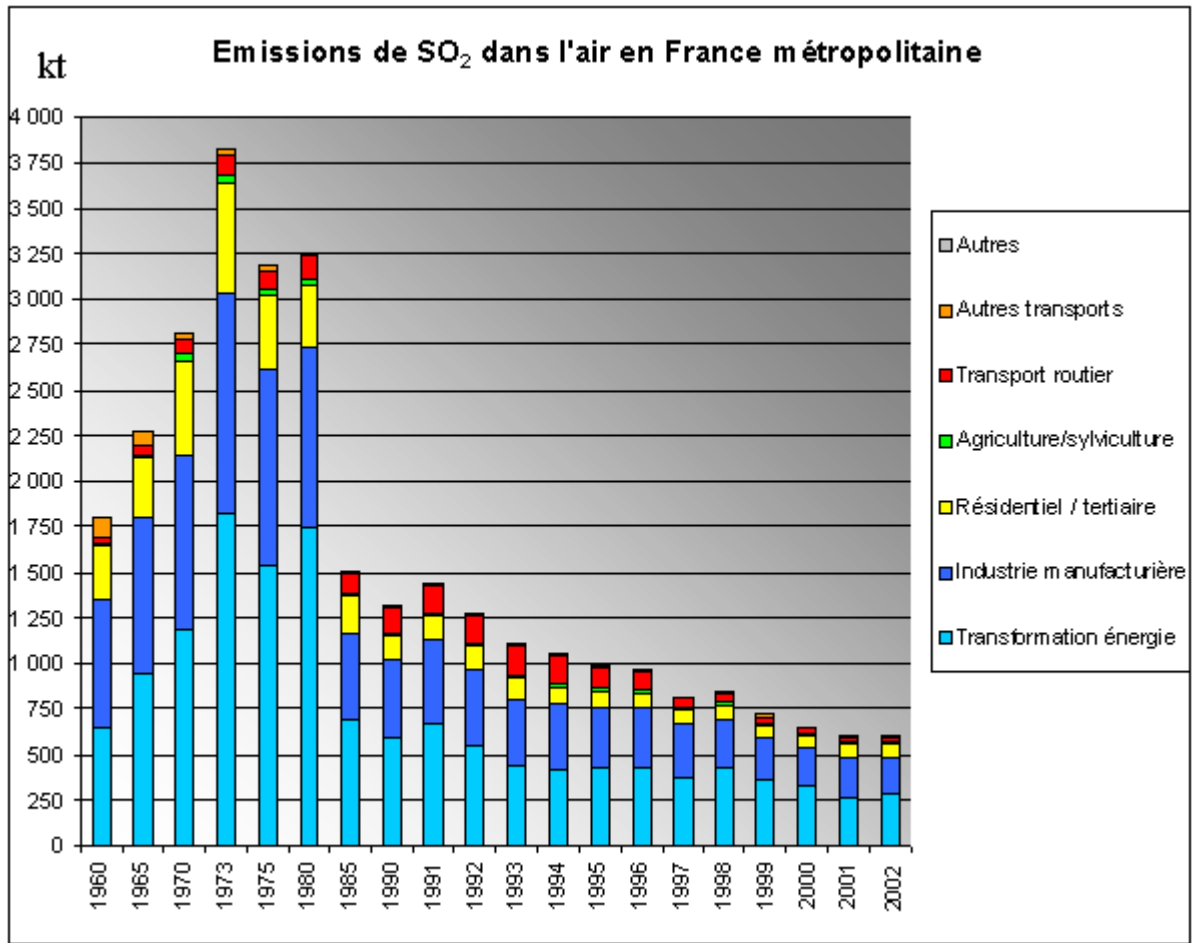


Figure 7

Evolution des émissions du dioxyde de Soufre en France. D'après le CITEPA.

La Figure 8 montre que le secteur des transports est le principal émetteur de NO_x. Malgré la mise en œuvre des pots catalytiques la décroissance des émissions est assez lente, ce qui reflète l'inefficacité des pots catalytiques pour les faibles distances, la croissance de la circulation et l'absence de pots catalytiques pour les moteurs diesel pendant la période de mesure. La production d'ozone troposphérique suit celle des NO_x.

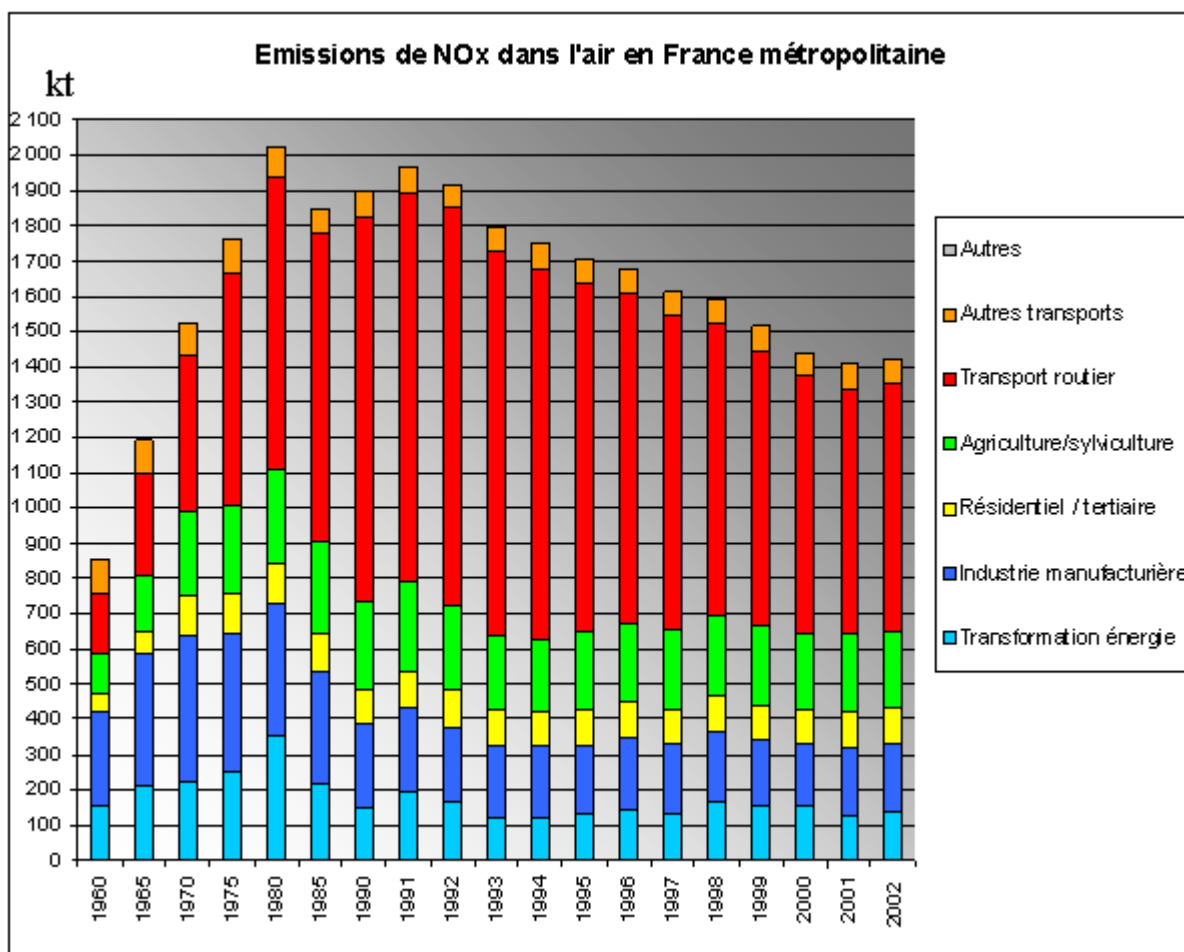


Figure 8

Evolution des émissions d'oxydes d'Azote en France. D'après le CITEPA.

EFFETS SANITAIRES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

D'une façon générale la pollution atmosphérique peut se traduire par des troubles, non seulement du système respiratoire mais aussi du système cardio-vasculaire. Parmi ces troubles il y a lieu de distinguer les troubles aigus qui se révèlent peu après l'agression et les troubles chroniques qui peuvent apparaître bien après l'agression, par exemple les cancers. L'épidémiologie des deux types de troubles fait appel à des techniques différentes, et c'est pourquoi nous les traitons séparément.

Les troubles aigus

De nombreux programmes de surveillance épidémiologique ont pour but de déterminer l'influence de la pollution atmosphérique sur la santé publique en étudiant la corrélation entre le niveau des concentrations des différents polluants et les taux de mortalité et d'hospitalisation. Ces mesures de corrélations se font pour des faibles différences de temps entre les mesures de pollution et des taux de mortalité et d'hospitalisation. Parmi ces études signalons le programme européen APHEA (Air Pollution and Health, a European Approach) dans le cadre duquel se déroulent les programmes régionaux français comme PSAS-9 (Programme de Surveillance Air et Santé 9 villes) et ERPURS (Evaluation des Risques de la Pollution URbaine sur la Santé) de la Région Ile de France. Nous rappellerons les résultats obtenus pour le programme ERPURS, résultats bien représentatifs de ceux trouvés pour d'autres villes et dans d'autres pays.

L'étude ERPURS^[3]

Dans cette étude, les niveaux de concentration des polluants principaux mesurés par AIRPARIF chaque jour, et, même, trois fois par jour dans le cas de l'Ozone sont utilisés. Les niveaux moyens des pollutions de fond (mesurées loin des sources d'émission) sont donnés sur le Tableau 6. On remarque que les concentrations moyennes de tous les indicateurs utilisés sont de l'ordre de quelques dizaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Polluant	Niveau de base	Niveau médian
NO ₂	26	50
O ₃	4	29
Fumées noires	8	20
Particules fines	11	30
SO ₂	5	15

Tableau 6

Niveaux de concentration (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les polluants principaux moyennés sur la période 1987-2000. Le niveau de base est tel qu'il est supérieur à celui des seuls 18 jours les moins pollués de l'année. Le niveau médian est tel qu'il est dépassé pendant la moitié des jours de l'année.

Les corrélations sont établies entre les taux de mortalité et de morbidité (hospitalisation) et les niveaux de pollution du jour et de la veille. La mortalité a été fournie par l'INSERM et la morbidité par l'Assistance Publique. Les contributions des différents types de polluants ont été extraites par des analyses des corrélations multi-variables.

Mesure	Affections	Polluant dominant	augmentation %/10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hospitalisation	asthme moins de 15 ans	NO ₂	3,3
Hospitalisation	maladies respiratoires moins de 15 ans	Particules Fines	2,7
Mortalité	causes respiratoires	Particules Fines	2,5
Hospitalisation	affections cardio-vasculaires	NO ₂	1,4
Mortalité	affections cardio-vasculaires	Particules Fines	1,3
Mortalité	Toutes causes non accidentelles	NO ₂	0,8
Hospitalisation	BPCO	O ₃	0,8

Tableau 7

Augmentation en pourcentage de la mortalité et de la morbidité en fonction de la nature du polluant dominant (ayant la plus forte contribution au trouble considéré) et du type d'affection pour une augmentation de la concentration du polluant de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. On indique aussi l'augmentation de la mortalité toutes causes non accidentelles confondues. L'abréviation BPCO signifie Broncho-pneumopathies Chroniques Obstructives.

A partir des deux tableaux précédents on peut estimer la mortalité due à des troubles aigus causés par la pollution atmosphérique à environ 3600 décès prématurés chaque année dans la région parisienne qui compte environ 10 millions d'habitants (90000 (nombre de décès par an toutes causes)x0,008x5). En général les victimes sont des personnes âgées où malades fragilisées de sorte que le nombre d'années de vie perdues par décès est faible.

Tous les résultats des études peuvent s'expliquer, jusqu'à présent, par une relation dose-effet linéaire, sans qu'on s'explique les raisons de la validité d'une telle relation. Par ailleurs il est possible que les facteurs climatiques (température, vent) jouent un rôle important dans les corrélations observées. Ainsi le caractère causal des particules ou des oxydes d'azote dans les affections aiguës n'est pas encore démontré. Il est possible qu'ils jouent essentiellement un rôle de marqueur de la pollution. Il est clair que de nombreuses études épidémiologiques et en laboratoire restent à faire pour que nous comprenions mieux l'origine des corrélations entre niveau de pollution et affections aiguës.

Les troubles chroniques

Les études des effets à long terme sur la santé de la pollution atmosphérique sont beaucoup plus difficiles à mener que celles décrites ci-dessus. En effet les séries temporelles ne peuvent être utilisées dans ce cas. Il est nécessaire de comparer des sites géographiques différents caractérisés par des niveaux de pollution moyens différents. Il faut aussi prendre soin de déterminer les facteurs de confusion possibles et de faire les corrections correspondantes. Les épidémiologistes de Harvard ont été les premiers à s'attaquer à ce problème par leur étude sur six villes américaines^[4]. Plus récemment ils ont réalisé une étude sur plus de 500000 sujets que l'on peut considérer comme fondatrice. C'est cette étude que nous résumons ici.

L'étude a commencé à l'automne 1982 et les sujets ont été suivis jusqu'en 1989. Les sujets devaient avoir plus de 30 ans. L'âge moyen des sujets au moment de leur prise en compte était de 56 ans. Les données ont porté sur 50 villes et 300000 sujets pour le suivi de la pollution due aux particules de moins de 2,5 microns et sur 150 villes et 550000 sujets pour les sulfates. Les sulfates et les particules peuvent être considérés comme des marqueurs de la pollution.

Le niveau de pollution retenu pour chaque site était la concentration moyennée sur l'année 1980 pour les sulfates et sur les années 1979 à 1983 pour les particules. Les sulfates représentent une partie notable des particules dont l'importance dépend des sites. La concentration moyenne des sulfates était de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec un minimum de $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et un maximum de $23,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, les chiffres correspondant pour les particules étant de $18,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $33,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Chaque sujet étant suivi individuellement il a été possible de tenir compte de ses habitudes de vie, en particulier en ce qui concerne la consommation de tabac, pour corriger les données. Le Tableau 8 résume les principaux résultats obtenus par l'étude. Pour les sulfates, toutes corrections faites le risque relatif de mortalité est 15% plus grand dans la zone la plus polluée que dans celle la moins polluée. Le risque relatif associé au cancer du poumon est particulièrement élevé (36%). Dans le cas des particules le risque relatif est 17% plus grand dans la zone la plus polluée que dans celle la moins polluée. Par contraste avec le cas des sulfates, il ne semble pas que le risque relatif associé au cancer du poumon soit significatif. L'excès de mortalité serait essentiellement dû aux troubles cardio-pulmonaires. Les auteurs suggèrent que les sulfates seraient les principaux responsables de l'augmentation des cancers du poumon. Si tel était le cas la décroissance des émissions de SO_2 devrait avoir des conséquences bénéfiques importantes.

Il faut remarquer que l'étude fait implicitement l'hypothèse que la pollution mesurée en 1980 était représentative de celle qui existait dans les décennies précédentes puisque les cancers ne se développent qu'après un temps de latence important. En dehors des cas de cancers, l'étude inclut bien évidemment les mortalités liées à des pathologies aiguës.

Rapport des mortalités de la zone la plus polluée à celle de la moins polluée		
	Sulfates	Particules
Toutes causes moyenne	1,15	1,17
Toutes causes intervalle de confiance (95%)	1,09-1,22	1,09-1,26
Cancer du poumon moyenne	1,36	1,03
Cancer du poumon intervalle de confiance (95%)	1,11-1,66	0,80-1,33
Troubles cardio-pulmonaires moyenne	1,26	1,31
Troubles cardio-pulmonaires intervalle de confiance (95%)	1,16-1,37	1,17-1,46

Tableau 8

Risques relatifs mesurés comme le rapport des mortalités de la zone la plus polluée à celles de la zone la moins polluée. Les valeurs moyennes et les intervalles de confiance à 95% sont donnés.

Les auteurs ont également fait une estimation plus simple et plus classique de l'influence du taux de pollution sur la mortalité. Utilisant les données démographiques correspondant aux zones urbaines retenues dans leur étude, ils ont déterminé la corrélation entre le taux de mortalité et les concentrations

en sulfates et particules, et ce après correction des différences dues à l'âge, au sexe et à la race. Ils obtiennent ainsi des coefficients de régression de 10,5 et 8 décès/an/100000 habitants/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les sulfates et les particules respectivement. A partir de cette approche on trouve que le risque relatif entre la zone la plus polluée et la zone la moins polluée est de 1,25 et 1,24 pour les sulfates et les particules respectivement. Il semblerait donc que la prise en compte de facteurs comme l'usage du tabac tende à diminuer la corrélation mesurée entre pollution et mortalité.

Retenant la valeur de 1,15 pour le risque relatif on aurait donc environ 7 décès/an/100000 habitants/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules. Retenant une valeur de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les concentrations de particules de moins de 2,5 microns de diamètre et une population de 10 millions d'habitants (cas de Paris discuté plus haut) on arrive à un nombre de décès annuels dus à la pollution de 14000. Le nombre annuel de décès dans l'agglomération parisienne est de l'ordre de 90000. Selon l'étude de Pope et al. la pollution représenterait donc une cause majeure de décès prématuré.

D'après l'étude ExternE présentée dans le chapitre 28 on obtient un nombre d'années de vie perdues de $7 \cdot 10^{-4}$ par personne, par an et par $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de particules de moins de 2,5 microns. Dans le cas de la région parisienne on obtient alors 140000 années de vie perdues chaque année. En rapprochant ce chiffre de celui du paragraphe précédent on trouve que 10 années de vie seraient perdues par décès. Les estimations sont donc cohérentes.

L'importance des effets sanitaires trouvés ci-dessus exige qu'ils soient confirmés par de nouvelles études épidémiologiques et en laboratoire. Nos remarques concernant les affections aiguës sont encore plus justifiées dans le cas des affections chroniques. Là encore particules et sulfates ne pourraient bien jouer qu'un rôle de marqueur de la pollution plutôt qu'un rôle causal dans les affections cardio-pulmonaires. De même, s'il est vrai qu'aucun argument décisif ne vient contredire l'hypothèse d'une relation linéaire entre dose et effets, il reste à préciser le domaine de validité de cette dernière.

[1] Nous conserverons ici le vocable habituel de production d'énergie alors qu'il serait plus correct, comme le montre R.Balian, d'utiliser le terme de transformation d'une forme d'énergie (chimique par exemple) dans une autre (chaleur et électricité par exemple).

[2] The World Health Report 2002. World Health Organisation: <http://www.who.ch/>

[3] www.ors-idf.org

[4] D.W.Dockery et al., An association between air pollution and mortality in six US cities, N. Engl. J. Med. 329(1993)1753

[1] The World Health Report 2002. World Health Organisation: <http://www.who.ch/>