

Le cancer parmi les populations avoisinant les centrales nucléaires

Rapport d'une équipe de chercheurs de l'Institut national du cancer des Etats-Unis

par
Seymour Jablon,
Zdenek Hrubec et
John D. Boice, Jr.

Bien que les Etats-Unis n'aient pas connu de rejets massifs accidentels de radioactivité provenant d'une centrale nucléaire, comme ce fut le cas à Tchernobyl¹, on se pose toujours des questions sur les effets nocifs pour la santé que pourraient avoir des événements tels que les accidents de Three Mile Island² et de Hanford³, ou même l'exploitation des installations nucléaires en régime normal.

Une augmentation du nombre de cas de leucémie infantile a été signalée aux environs de l'usine de retraitement de combustible de Sellafield, en Angleterre^{4,5}, près de l'usine de retraitement de Dounreay, en Ecosse^{6,7}, et parmi les enfants vivant dans un rayon de quelques kilomètres autour des usines d'armement nucléaire d'Aldermaston ou de Burghfield, également en Angleterre⁸. Dans une étude systématique, Forman et coll.⁹ et Cook-Mozaffari et coll.^{10,11} signalent une augmentation de la mortalité due à la leucémie et à la lymphogranulomatose maligne parmi les jeunes vivant à proximité de 14 installations nucléaires, dont huit centrales électriques. En revanche, Crump et ses collaborateurs¹² n'ont pas constaté de variation de l'incidence du cancer dans les environs de l'usine d'armement nucléaire de Rocky Flats, et les études faites en France par Dousset¹³, Viel et Richardson¹⁴ et Hill et Laplanche¹⁵ n'ont révélé aucune augmentation de la mortalité due à la leucémie ou autre forme de cancer parmi les populations vivant aux alentours des six installations nucléaires en cause (dont deux usines de retraitement).

Les enquêtes parmi les populations vivant à proximité des centrales nucléaires ont donné des résultats variables. Au Royaume-Uni, Ewings et ses collaborateurs¹⁶ ont constaté une augmentation de l'incidence de la leucémie et du lymphome parmi les jeunes à proximité de

la centrale de Hinckley Point. Clapp et ses collaborateurs¹⁷ ont signalé une augmentation des cas de leucémie chez la population masculine dans cinq villes proches de la centrale de Pilgrim, dans le Massachusetts, tandis qu'Enstrom¹⁸ n'a pas observé d'augmentation de la mortalité près de la centrale de San Onofre, en Californie, et Clarke et ses collaborateurs¹⁹ n'ont signalé aucune augmentation de l'incidence de la leucémie parmi les enfants canadiens de moins de cinq ans qui habitent à proximité des diverses installations étudiées, dont une usine d'affinage du plutonium.

Certains chercheurs britanniques ont précisé que l'augmentation du nombre de cas de cancer parmi les personnes vivant à proximité d'installations nucléaires ne saurait être imputée à des rejets de radioactivité par ces installations, étant donné que les doses correspondant à ces rejets sont bien inférieures à la dose reçue du fond naturel de rayonnement^{11,20}. De plus, les divers rapports ne concordent pas en ce qui concerne la distance de la centrale, le temps écoulé depuis sa mise en service, ni même les groupes d'âge et de morbidité.

Pour traiter la question de façon systématique, une équipe américaine a évalué les chiffres de la mortalité due au cancer par comté, ainsi que les fichiers médicaux sur le cancer, lorsqu'ils existaient et étaient bien tenus²¹.

Les méthodes

Types de cancer. Les 15 types de cancer énumérés ci-après ont été étudiés, outre les néoplasmes bénins et non spécifiés: leucémie et leucémie aileucémique; tout néoplasme malin à l'exclusion de la leucémie; lymphogranulomatose maligne; autres lymphomes; myélomes multiples; cancer de l'estomac; cancer du colon et du rectum; cancer primaire du foie; cancer de tout organe de l'appareil digestif; cancer de la trachée, des bronches et des poumons; cancer du sein; cancer de la thyroïde; cancer des os et des articulations; cancer de la vessie; cancer du cerveau et autres parties du système nerveux central. La leucémie est le cancer radio-induit qui apparaît le plus tôt après une forte irradiation à débit de dose élevé, tandis

M. Jablon, M. Hrubec et M. Boice travaillent pour la Division d'épidémiologie de l'Institut national du cancer du Département de la santé publique des Etats-Unis, Bethesda, Maryland (Etats-Unis). Le présent article est tiré de leur mémoire publié dans le *Journal of the American Medical Association* du 20 mars 1991, volume 265, n° 11, Copyright 1991, American Medical Association, 535 Dearborn St., Chicago, Illinois 60610 Etats-Unis d'Amérique.

que le risque à faible dose et à faible débit de dose n'est pas prouvé scientifiquement²².

Incidence et mortalité. Les comtés sont les plus petites circonscriptions pour lesquelles il existe des évaluations de la population et des relevés annuels du nombre de décès avec leurs causes, et cela sur tout le territoire de la nation. Les nombres de décès selon la cause, le sexe, la race et pour le groupe de cinq ans d'âge ont été obtenus pour chaque comté et pour toutes les années entre 1950 et 1984. Des données fiables sur l'incidence n'ont cependant été obtenues que pour le Connecticut et l'Iowa en ce qui concerne quatre installations. Les analyses ont donc essentiellement porté sur les chiffres de la mortalité. Les évaluations de la population des comtés pour chaque année, par sexe, race et groupe d'âge ont été faites par interpolation des données des recensements effectués entre 1950 et 1969²³; pour les années suivantes, elles ont été faites par le Bureau du recensement à partir des recensements décennaux et autres sources.

Comtés étudiés. La latence minimale de la leucémie radio-induite est de deux ans²², de sorte que les décès dus aux leucémies qui résulteraient de radioexpositions subies en 1982 ou après n'ont pas été retenus. C'est pourquoi l'étude ne porte que sur les 62 installations qui étaient en exploitation avant 1982, dont 52 centrales nucléaires privées, neuf installations exploitées pour le compte du Département de l'énergie et une ancienne usine privée de retraitement du combustible. Ces 62 installations correspondent à 64 comtés (le Laboratoire national d'ingénierie de l'Idaho et le Laboratoire d'Oak Ridge ont chacun des installations dans deux comtés). Bien qu'il y eût plus de 80 réacteurs exploités par des compagnies privées avant 1982, il y a moins de périmètres étudiés que de réacteurs simplement parce que certaines centrales comportent plus d'un réacteur. Par ailleurs, certaines installations sont situées sur la limite entre comtés, ou à proximité immédiate, auquel cas le comté adjacent est inclus lorsqu'il représente au moins 20% d'une zone de 16 km de rayon autour de l'installation considérée. Quelques comtés adjacents qui répondaient au critère du choix ont cependant été exclus à cause de l'existence d'une grande ville, loin de la centrale, qui aurait dominé les statistiques de la mortalité due au cancer. Ainsi, l'étude porte sur 107 comtés différents. Les centrales de Point Beach et de Kewaunee (Wisconsin) situées dans des comtés adjacents sont traitées comme une seule installation. Les résultats sont donc présentés pour 61 périmètres d'étude.

Comtés témoins. Trois comtés de référence ont été choisis pour chaque comté étudié. Il n'a cependant pas toujours été possible de prendre des groupes de témoins différents pour chacun de ces derniers, de sorte que 292 comtés témoins différents ont été retenus. Les témoins ont été assortis de façon à fonder l'étude sur les critères suivants: pourcentage des habitants âgés de plus de 25 ans en distinguant les blancs,

Installations nucléaires incluses dans l'enquête

Installation	Comté	Etat	Démarrage*
Installation du			
Département de l'énergie			
Fernald	Hamilton	Ohio	1951
Hanford	Benton	Washington	1943
Idaho National Engineering			
Laboratory	Bingham, Butte	Idaho	1949
Mound	Montgomery	Ohio	1947
Nuclear Fuel Services	Cattaraugus	New York	1966
Oak Ridge	Anderson, Roane	Tennessee	1943
Paducah Gaseous Diffusion	Ballard	Kentucky	1950
Portsmouth Gaseous Diffusion	Pike	Ohio	1952
Rocky Flats	Jefferson	Colorado	1953
Savannah River	Barnwell	Caroline du Sud	1950
Compagnies d'électricité			
Arkansas	Pope	Arkansas	1974
Big Rock Point	Charlevoix	Michigan	1962
Browns Ferry	Limestone	Alabama	1973
Brunswick	Brunswick	Caroline du Nord	1975
Calvert Cliffs	Calvert	Maryland	1974
Cook	Berrien	Michigan	1975
Cooper Station	Nemaha	Nebraska	1974
Crystal River	Citrus	Floride	1977
Davis Besse	Ottawa	Ohio	1977
Dresden	Grundy	Illinois	1960
Duane Arnold	Linn	Iowa	1974
Farley	Houston	Alabama	1977
Fermi	Monroe	Michigan	1963
Fort Calhoun	Washington	Nebraska	1973
Fort St Vrain	Weld	Colorado	1976
GINNA	Wayne	New York	1969
Haddam Neck	Middlesex	Connecticut	1967
Hallam	Lancaster	Nebraska	1962
Hatch	Appling	Georgie	1974
Humboldt Bay	Humboldt	Californie	1963
India Point	Westchester	New York	1962
Kewaunee	Kewaunee	Wisconsin	1973
La Crosse (Genoa)	Vernon	Wisconsin	1967
Maine Yankee	Lincoln	Maine	1972
McGuire	Mecklenburg	Caroline du Nord	1981
Millstone	New London	Connecticut	1970
Monticello	Wright	Minnesota	1971
Mine Mile Point	Oswego	New York	1969
North Anna	Louisa	Virginie	1978
Oconee	Oconee	Caroline du Sud	1973
Oyster Creek	Ocean	New Jersey	1969
Palisades	Van Buren	Michigan	1971
Pathfinder	Minnehaha	Dakota du Sud	1964
Peach Bottom	York	Pennsylvanie	1974
Pilgrim	Plymouth	Massachusetts	1972
Point Beach	Manitowoc	Wisconsin	1970
Prairie Island	Goodhue	Minnesota	1973
Quad Cities	Rock Island	Illinois	1972
Rancho Seco	Sacramento	Californie	1974
Robinson	Darlington	Caroline du Sud	1970
St Lucie	St Lucie	Floride	1976
Salem	Salem	New Jersey	1976
San Onofre	San Diego	Californie	1967
Sequoyah	Hamilton	Tennessee	1980
Shippingport/Beaver Valley	Beaver	Pennsylvanie	1957
Surry	Surry	Virginie	1972
Three Mile Island	Dauphin	Pennsylvanie	1974
Trojan	Columbia	Oregon	1975
Turkey Point	Dade	Floride	1972
Vermont Yankee	Windham	Vermont	1972
Yankee Rowe	Franklin	Massachusetts	1960
Zion	Lake	Illinois	1972

* L'étude porte sur 62 installations nucléaires, à savoir: 10 installations du Département de l'énergie, dont une usine de retraitement du combustible anciennement privée (Nuclear Fuel Services); 52 centrales électriques mises en service entre 1957 et 1969 (15), entre 1970 et 1974 (25), et entre 1975 et 1981 (12).

Données sur les comtés inclus dans l'étude

	Comtés étudiés	Comtés témoins
Nombre de comtés	107	292
Population (1980)		
Total	18 720 000	32 980 000
Médiane	62 900	41 600
Superficie (en km ²)		
Maximale	10 951	52 156
Médiane	1 503	1 498
Minimale	218	234
Nombre de décès (1950-1984)		
Leucémie	37 200	78 500
Autres cancers	838 000	1 794 000

les noirs, les indiens, les hispaniques, les urbains, les ruraux, les employés d'usine et les diplômés du second degré; le revenu moyen par famille; le taux net de migration; la mortalité infantile; l'effectif de la population. Toutes les données valaient pour 1979, à l'exception de l'effectif de la population qui correspondait à 1980.

Les fortes variations de la mortalité due au cancer selon les régions ne peuvent cependant pas intégralement s'expliquer par les statistiques démographiques courantes. Il n'existe pas de données sur les régimes alimentaires ou certaines origines ethniques particulières, par exemple. Comme les distributions de ces facteurs ne varient généralement que sur de vastes régions (la composition ethnique dans le sud-ouest), les comtés témoins ont été choisis dans la même région que les comtés étudiés.

Forme de l'analyse

Etude par installation. Pour chaque type de cancer et chaque comté, le nombre «estimatif» de décès, fondé sur des données parallèles pour l'ensemble du pays, a été calculé pour chaque année de la période de 35 ans sur laquelle porte l'étude (1950 à 1984). Les taux annuels de mortalité pour les Etats-Unis ont été multipliés par l'effectif estimatif des populations, par groupe de cinq ans d'âge, par sexe et par race (blanc et non-blanc). Les chiffres correspondant aux deux races et aux deux sexes ont alors été additionnés pour le périmètre étudié, s'il intéresse plus d'un comté, et pour les comtés témoins associés. Les chiffres ainsi obtenus ont ensuite été additionnés pour toutes les années depuis 1950 jusqu'à la mise en service de l'installation et pour toutes les années à partir de ce moment jusqu'à 1984, ce qui a donné des chiffres estimatifs de la mortalité avant et après le démarrage de l'installation.

Le rapport entre le nombre effectif des décès et le nombre estimatif calculé d'après les taux pour l'ensemble du pays est appelé le rapport de mortalité normalisée (RMN). De même, le rapport entre le nombre de cas de cancers enregistrés et le nombre estimatif calculé

d'après les taux pour l'ensemble de l'Etat est dénommé le rapport de fichier normalisé (RFN). Les rapports entre les RMN ou les RFN des comtés étudiés et ceux des comtés témoins ont été appelés le «risque relatif» (RR), bien que ce ne soit pas là l'acception usuelle de ce terme. Les rapports n'ont pas été calculés lorsque le nombre de décès dans les comtés étudiés ou dans les comtés témoins était inférieur à trois ou si leur somme était inférieure à dix. La différence entre chaque RR et 1,00 a été évaluée en calculant la probabilité qu'une différence de la grandeur observée, ou supérieure à celle-ci, aurait pu se présenter par hasard.

Combinaison de plusieurs installations. Les chiffres de la mortalité ont également été étudiés pour des combinaisons de plusieurs installations à l'aide d'une adaptation de la méthode de Mantel-Haenszel pour les données stratifiées²⁴. Chaque périmètre étudié et sa zone témoin associée constituaient une tranche. Les données relatives aux réacteurs des centrales électriques et celles correspondant aux installations du Département de l'énergie ont été analysées séparément et ensemble.

Résultats

Mortalité. On a constaté, en ce qui concerne la mortalité infantile due à la leucémie et pour chaque groupe d'installations, qu'il s'agisse des centrales électriques ou des installations du Département de l'énergie, que le risque relatif était plus faible après le démarrage de l'installation qu'avant. (Certaines installations du Département de l'énergie sont entrées en service dans les années 40 et, les périodes possibles pour cette étude commençant en 1950, les chiffres relatifs à la plupart de ces installations ne correspondent naturellement qu'à la période suivant la mise en service.) Dans aucun cas le risque relatif de mortalité infantile due à la leucémie n'était significativement élevé. En ce qui concerne la mortalité infantile due au cancer autre que la leucémie, il n'augmentait de manière significative pour aucune installation ou groupe d'installation après la mise en service.

Prise globalement, la mortalité due à la leucémie dans tous les groupes d'âge montre également que le risque relatif est moindre après la mise en service des installations qu'avant. Après le démarrage, toutes les valeurs du risque relatif étaient inférieures à 1,00; le défaut est significatif (P inférieur à 0,05) pour l'ensemble des installations du Département de l'énergie, et pour l'ensemble de toutes les installations.

Les valeurs pour tous les groupes d'âge et pour tous les types de cancers, à l'exception de la leucémie, montrent que le risque relatif après la mise en service est toujours voisin de 1,00, se situant entre 0,98 et 1,04. Le risque relatif associé aux installations du Département de l'énergie est significativement élevé (1,04), mais il est moindre qu'avant le démarrage. Plus

Résultats de l'enquête

Mortalité due à la leucémie dans le groupe des moins de dix ans, par type d'installation

Type d'installation	Avant démarrage					Après démarrage				
	Etude		Témoins		RR	Etude		Témoins		RR
	Décès constatés	RMN	Décès constatés	RMN		Décès constatés	RMN	Décès constatés	RMN	
Département de l'énergie Compagnies d'électricité	39	1,18	48	0,84	1,45	601	1,01	1009	0,96	1,06
1957-1969	593	1,09	1035	1,05	1,03	534	1,03	993	1,00	1,00
1970-1974	996	1,06	2383	0,98	1,09*	227	1,00	482	0,94	1,06
1975-1981	392	1,07	785	0,95	1,11	28	0,70	88	0,93	0,82
Total	1981	1,07	4203	0,99	1,08*	789	1,01	1563	0,98	1,01
Toutes installations	2020	1,07	4251	0,99	1,08*	1390	1,01	2572	0,97	1,03

Mortalité due à la leucémie, pour tous les âges, par type d'installation

Type d'installation	Avant démarrage					Après démarrage				
	Etude		Témoins		RR	Etude		Témoins		RR
	Décès constatés	RMN	Décès constatés	RMN		Décès constatés	RMN	Décès constatés	RMN	
Département de l'énergie Compagnies d'électricité	258	1,01	401	0,92	1,07	6 077	1,00	11 657	1,03	0,96*
1957-1969	4 088	1,02	7 235	0,99	1,05*	8 478	1,00	15 474	1,01	0,99
1970-1974	8 354	0,97	21 172	0,97	1,00	5 615	0,97	12 823	1,00	0,98
1975-1981	3 307	0,99	7 163	0,94	1,04	1 006	0,92	2 620	0,95	0,98
Total	15 749	0,99	35 570	0,97	1,02	15 099	0,98	30 917	1,00	0,99
Toutes installations	16 007	0,99	35 971	0,97	1,02	21 176	0,98	42 574	1,01	0,98*

Mortalité due à toutes les formes de cancer à l'exception de la leucémie, pour tous les âges, par type d'installation

Type d'installation	Avant démarrage					Après démarrage				
	Etude		Témoins		RR	Etude		Témoins		RR
	Décès constatés	RMN	Décès constatés	RMN		Décès constatés	RMN	Décès constatés	RMN	
Département de l'énergie Compagnies d'électricité	5 780	1,04	8 991	0,96	1,06*	141 635	1,06	247 308	0,99	1,04*
1957-1969	79 902	1,00	157 745	1,06	1,00	197 158	1,02	364 675	1,05	1,01
1970-1974	179 208	0,99	471 890	1,02	0,98*	139 175	0,99	317 206	1,02	0,98*
1975-1981	69 310	0,96	157 884	0,96	1,02*	26 325	0,98	68 785	1,01	0,99*
Total	328 420	0,98	787 519	1,01	0,99	362 658	1,01	750 666	1,04	0,99
Toutes installations	334 200	0,99	796 510	1,01	1,00	504 293	1,02	997 974	1,02	1,01

Incidence de la leucémie dans les comtés étudiés du Connecticut et de l'Iowa

	Avant démarrage		Après démarrage	
	Décès constatés	RFN	Décès constatés	RFN
Moins de dix ans au moment du diagnostic				
Haddam Neck, Conn (1967), comté de Middlesex	15	0,96	16	0,97
Millstone, Conn (1970), comté de New London	49	1,19	44	1,55**
Fort Calhoun, Neb (1973), comté de Harrison, Iowa	1	1,91	4	3,13
Duane Arnold, Iowa (1974), comtés de Linn et de Benton	9	1,04	17	1,26
Total	74	1,13	81	1,36**
Tous âges, toutes installations	577	0,92*	850	1,01

Notes: RFN = rapport de fichier normalisé, c'est-à-dire rapport entre le nombre de cas de cancer inscrits et le nombre estimatif calculé d'après les inscriptions dans les fichiers parallèles de l'Etat.

RMN = rapport de mortalité normalisé, c'est-à-dire rapport entre le nombre de décès constatés et le nombre estimatif calculé d'après les taux de mortalité pour l'ensemble des Etats-Unis.

RR = risque relatif, c'est-à-dire rapport entre le risque dans le périmètre étudié et le risque dans les zones témoins. Le RR pour des installations groupées est obtenu par une méthode du genre Mantel-Haenszel et diffère parfois du simple rapport des RMN.

*P ≤ 0,05.

**P ≤ 0,01.

de 2 millions de décès sont inclus de sorte que même de petits écarts du RR par rapport à 1,00 sont parfois statistiquement significatifs.

Incidence. Des chiffres n'existaient que pour les comtés du Connecticut et de l'Iowa. Vu que l'on n'en disposait pas pour tous les comtés témoins, l'évaluation est fondée sur les rapports de fichiers normalisés (RFN) avant et après le démarrage des installations. Pour la leucémie infantile associée aux quatre installations groupées, le RFN avant le démarrage était de 1,13 (non significatif), mais il est passé à 1,36 (P inférieur à 0,01) après le démarrage. C'est seulement avec la centrale de Millstone, dans le comté de New London, Connecticut, que l'on constate une augmentation significative du RFN après démarrage, soit 1,55 (P inférieur à 0,01). Les RFN s'établissaient ainsi: 1,46 de 1971 à 1975, 1,34 de 1976 à 1980, et 2,02 de 1981 à 1984, pour un total de 44 cas. Pour les dix années précédant le démarrage (1961 à 1970), on a cependant constaté 30 cas de leucémie infantile (RFN de 1,34). Pour tous les âges à la fois, il n'y a pas eu d'augmentation significative des RFN des leucémies après le démarrage, ni par installation, ni pour l'ensemble des installations.

Les RFN pour les cas de cancer infantile autres que la leucémie n'ont pas accusé d'écart significatif par rapport à 1,00. De même, les RFN pour les cancers du sein ou de la thyroïde (tous groupes d'âge) n'ont pas varié de manière significative par rapport à 1,00 après le démarrage.

Synthèse

L'initiative de ce travail est née de l'étude dont a fait état l'Office britannique de recensement et d'enquêtes démographiques^{9,10}. L'étude américaine porte sur une période bien plus longue (35 ans), ce qui permet une analyse plus détaillée avec comparaisons entre centrales avant et après leur démarrage et des comparaisons avec des zones témoins et l'ensemble des Etats-Unis. De surcroît, les installations nucléaires sont beaucoup plus nombreuses aux Etats-Unis qu'au Royaume-Uni. L'équipe britannique disposait de fichiers du cancer (incidence), mais comme nous n'étions pas certains de la comparabilité des relevés de différentes régions, nous avons préféré faire nos calculs à partir de la mortalité. Pour évaluer l'incidence, nous n'avons pris en considération que les quelques installations et comtés pour lesquels nous disposions de fichiers fiables.

Nous n'avons constaté aucune augmentation générale de la mortalité due au cancer dans les comtés des Etats-Unis où étaient implantées des centrales électriques, ni dans les comtés avoisinants. Contrairement à ce qu'indiquent certaines études britanniques⁴⁻⁸, aucune augmentation de l'incidence de la leucémie n'a été observée parmi la population enfantine vivant à proximité des usines de retraitement et des usines d'armement nucléaire.

Les données sur le cancer dont nous faisons état ont été reprises d'une *enquête* et non d'une étude expérimentale. Nous ne disposons d'aucune information sur les radioexpositions individuelles. Bien que nous ayons assorti les comtés d'après l'information dont nous disposons sur la composition raciale de la population, la proportion de ruraux et de citadins, les revenus et autres paramètres, il n'était pas possible de sélectionner des comtés témoins comparables en tous points à ceux qui faisaient l'objet de l'étude. Les comtés diffèrent quant aux industries, aux professions, aux niveaux d'instruction et au genre de vie. De plus, le choix reposait sur des données pour 1979 et 1980. Comme les caractéristiques de ces comtés dans les années 50 et les années 60 différaient sans nul doute de ce qu'elles étaient en 1979, l'assortiment des comtés étudiés et des comtés témoins pour les premières années n'était peut-être pas toujours satisfaisant. La mortalité due au cancer dans chaque comté a également été comparée avec les chiffres calculés à partir des taux parallèles de mortalité pour les Etats-Unis et, chaque fois que nous avons pu, nous avons aussi comparé l'incidence avec les valeurs estimatives fondées sur les taux pour les Etats. Signalons toutefois que les taux de morbidité à l'échelon de l'Etat ou de la nation ne sont pas nécessairement de bonnes bases de comparaisons pour certains comtés qui présentent des caractéristiques particulières en ce qui concerne le tabagisme et autres facteurs de risque de cancer.

L'analyse traite chaque ensemble formé d'un ou plusieurs comtés étudiés et des comtés témoins associés comme une tranche dans laquelle tous les écarts par rapport aux valeurs globales pour l'ensemble des Etats-Unis sont les mêmes. Or, cela n'est pas toujours nécessairement vrai et il y a par conséquent des variations qui sont dues à des facteurs étrangers à notre démarche. «Statistiquement significatif» est une expression technique qui désigne seulement la probabilité d'apparition d'une différence par pur hasard et n'a rien à voir avec la signification biologique, distinguée de la signification mathématique. Bien que les RR représentent souvent des écarts significatifs par rapport à 1,00, des valeurs de 0,98 ou de 1,03 ont biologiquement peu d'importance. Le fait que des milliers de RR ont été calculés et que leur signification ait été vérifiée doit être pris en considération lorsqu'on détermine la portée d'un RR qui s'avère statistiquement significatif.

L'enquête a quelques autres points faibles, dont les suivants:

- On ne disposait de données que pour les comtés. Certains d'entre eux, qui hébergent des installations nucléaires, comportent aussi des grandes villes situées loin de ces installations. L'effet local associé à ces installations peut ne pas être détectable à partir des chiffres de la mortalité du comté à cause de la dilution qui résulte de l'inclusion des populations urbaines. Le même genre de problème se pose d'ailleurs dans le cas des circonscriptions sanitaires du

Royaume-Uni utilisées par Roman et coll.²⁵ pour leurs études sur Harwell, Aldermaston et Burghfield, et par Cook-Mozaffari et coll.^{11,26} dans leur enquête ultérieure sur la mortalité due

au cancer aux alentours de toutes les installations nucléaires (et de futures installations éventuelles) en Angleterre et au pays de Galles.

● Notre étude repose surtout sur les chiffres de la mortalité. Le taux de morbidité n'existait que pour les comtés associés à quatre installations. Or, les taux de mortalité ne sont pas l'idéal en ce qui concerne les cancers de la thyroïde ou du sein, ou la leucémie infantile, car les traitements actuels, plus efficaces, ont fait baisser très sensiblement la mortalité au cours des dernières années sans pour autant modifier l'incidence. Toutefois, l'enquête britannique qui nous a incités à entreprendre notre étude a révélé une augmentation significative de la mortalité due à la leucémie infantile.

● Les types de cancers mortels ont été relevés sur les certificats de décès établis par les médecins. Cependant, en l'absence d'autopsie, il peut être difficile de déterminer si un cancer du poumon est primaire ou résulte de métastases. Nul doute que la qualité des soins médicaux peut varier d'un comté à l'autre et influencer sur la justesse de la cause déclarée du décès, donc sur la comparabilité des données pour le comté considéré.

● Les installations du Département de l'énergie sont en exploitation depuis plus de 30 ans, tandis que la plupart des centrales privées ne sont entrées en service qu'à partir de 1970. Etant donné la longue période de latence de la plupart des cancers radio-induits, seuls les rejets des installations au cours des quelques premières années de leur exploitation auraient pu provoquer des cancers (autres que la leucémie) détectables avant 1985.

● Notre enquête est en somme «écologique» puisque les radioexpositions individuelles ne sont pas connues. Certains habitants des comtés n'y résidaient peut-être pas de longue date au moment de leur mort. Inversement, certains résidents ont pu déménager et sont morts ailleurs. Des habitants des comtés où se trouve une installation nucléaire résident éventuellement loin de l'installation, sans être exposés à aucun risque, et les chiffres qui les concernent peuvent diluer les statistiques relatives à ceux qui résident à proximité de l'installation.

Conclusions

Malgré les limitations inhérentes à une étude écologique de la mortalité due au cancer dans des comtés dotés ou dépourvus d'installations nucléaires, la méthodologie utilisée s'est avérée efficace dans le passé pour détecter les substances carcinogènes présentes dans l'environnement. Par exemple, les cartes du cancer établies par l'Institut national du cancer à partir des statistiques de la mortalité ont révélé des taux de mortalité élevés dus au cancer du poumon, en particulier parmi les hommes, dans

ceux des comtés où étaient implantées des industries de construction navale. Des études ultérieures à l'aide de cas témoins dans les régions à haut risque ont attribué cette forte incidence du cancer du poumon aux expositions à l'amiante²⁷.

Si l'on s'en tient aux évaluations classiques du risque de cancer imputable aux rayonnements, la radioexposition due aux émissions radiologiquement contrôlées des installations nucléaires des Etats-Unis, généralement inférieure à 3 millirems par an pour l'individu le plus exposé²⁸, est trop faible pour causer des lésions détectables. De fait, cette radioexposition est bien plus faible que celle que reçoit la population du fond de rayonnement naturel, laquelle atteint environ 100 millirems par an, exception faite des doses aux poumons dues au radon. Une situation analogue se présentait au Royaume-Uni. Une augmentation de l'incidence de la leucémie infantile a néanmoins été constatée dans les environs des usines de retraitement de Sellafield et de Dounreay et des usines d'armement nucléaire d'Aldermaston et de Burghfield^{20,25}. Il n'a pas été démontré, cependant, que cette augmentation était due aux rejets radioactifs de ces installations. Une récente étude témoin des cas de leucémie apparus à proximité de l'installation de Sellafield a conclu que la cause possible pourrait être la radioexposition professionnelle du père avant la conception²⁹. On a également émis l'hypothèse que les grappes de cas constatées au Royaume-Uni pourraient avoir une cause infectieuse, peut-être virale³⁰.

Les différences significatives que nous avons relevées au cours de notre étude pour la période *précédant* la mise en service des installations montrent qu'il faut être prudent et ne pas interpréter systématiquement les différences notées après le démarrage d'une installation comme la preuve que l'exploitation de l'installation a un effet nuisible sur la santé. Cette interprétation est facilitée par les connaissances sur la radiocarcinogénèse que l'on a accumulées au cours des 50 dernières années et, plus particulièrement, des 15 dernières années²². La leucémie radio-induite peut se manifester dès deux ans après l'exposition, mais les autres cancers tels ceux du sein et du poumon évoluent plus lentement et risquent fort de ne pas apparaître dans les chiffres de la mortalité avant dix ans ou même plus après la radioexposition. Ce n'est que plusieurs années seulement après la mise en service d'une installation que l'exposition des résidents des environs à des rayonnements ionisants ou tous autres rejets potentiellement nocifs peut éventuellement atteindre un niveau suffisant pour provoquer une augmentation détectable de la mortalité due aux néoplasmes malins.

Nous n'avons constaté aucune augmentation statistiquement significative de la mortalité infantile due à la leucémie. Dans le seul cas de la centrale nucléaire de Millstone, Connecticut, les chiffres disponibles indiquent une augmentation significative de l'incidence. Cette

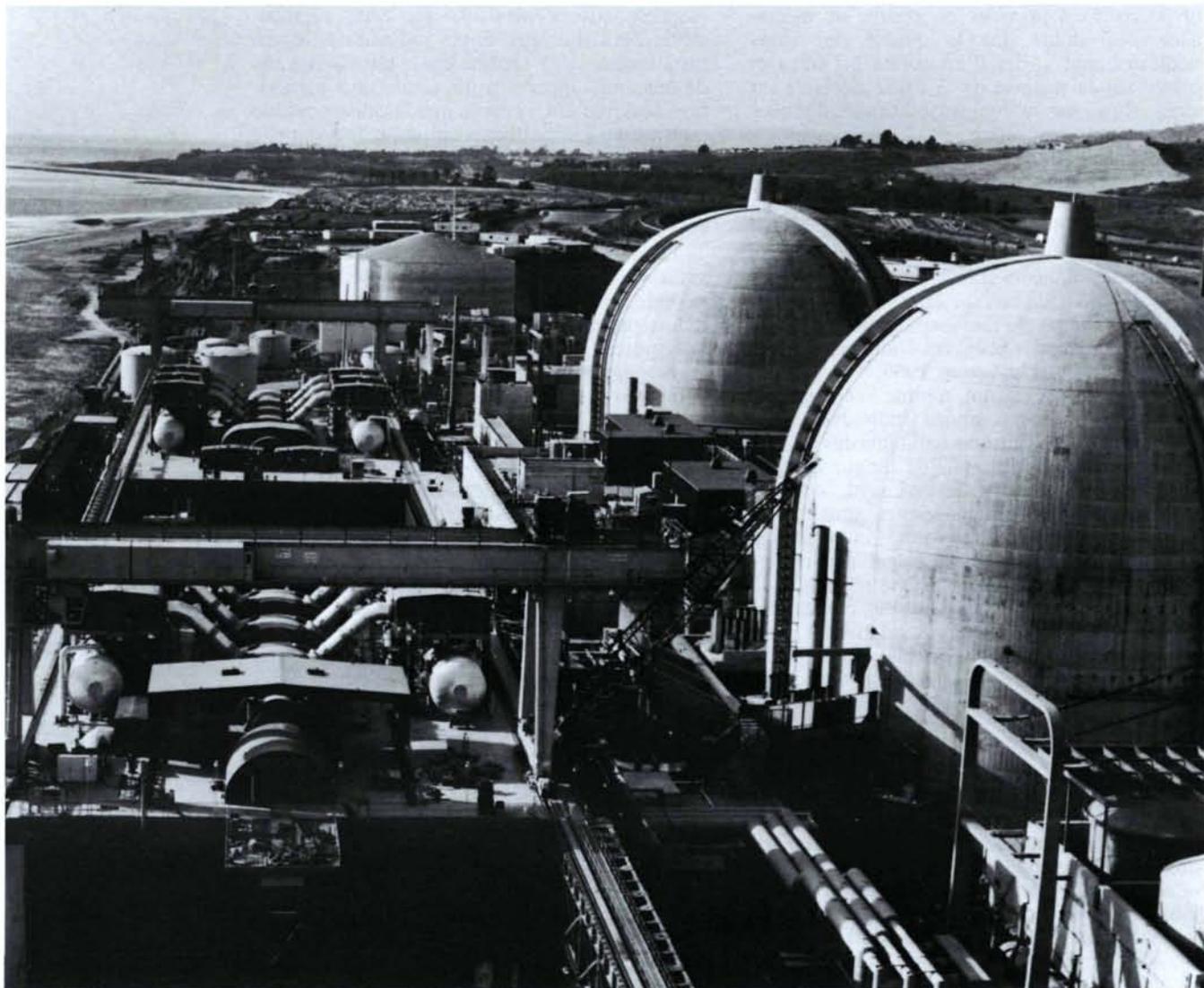
augmentation était toutefois antérieure à la mise en service de la centrale. En 1972, les centres de surveillance sanitaire ont étudié une grappe de cas de leucémie et de lymphome infantiles apparus dans la ville de Waterford, où la centrale est implantée. Or, six des 11 cas relevés existaient déjà avant octobre 1970, date de la mise en service du réacteur Millstone-1. Au cours de cette enquête, on a constaté que le RFN pour la leucémie infantile était élevé dès 1961 et jusqu'en 1984, c'est-à-dire avant et après l'entrée en service de la centrale. Il est donc fort peu probable qu'il y ait un rapport entre ces leucémies et l'exploitation de cette installation.

Notre enquête n'a pas davantage montré que l'exploitation d'aucune des 62 installations nucléaires étudiées ait fait augmenter l'incidence de la leucémie infantile dans leur voisinage. En Angleterre et dans le pays de Galles, Cook-Mozaffari et coll.²⁶ ont constaté une augmentation de l'incidence de cette affection et de la lymphogranulomatose maligne

dans des régions où l'on envisageait d'implanter des centrales nucléaires, mais celles-ci n'ont pas été construites ou l'ont été plus tard, d'où l'on peut déduire qu'il existe des zones comportant parfois des éléments de risque non identifiés autres que ceux directement liés aux installations nucléaires proprement dites. S'il est vrai que l'opinion publique s'est inquiétée à propos de Fernald, de Rocky Flats, de Hanford, de Three Mile Island et d'autres installations, notre étude n'a cependant révélé aucune augmentation de la mortalité due à la leucémie ou autres cancers qui serait imputable à des rejets radioactifs d'installations du Département de l'énergie ou de centrales nucléaires des compagnies privées d'électricité.

Les chiffres récapitulatifs pour toutes les installations montrent que le RR de mortalité due à la leucémie infantile après le démarrage des installations était de 1,03, alors qu'il était de 1,08 auparavant. Pour tous les groupes d'âge, le risque relatif pour la leucémie était de 0,98 après le démarrage et de 1,02 avant. Notre

San Onofre (sud de la Californie): une des 62 centrales nucléaires étudiées aux Etats-Unis. (Photo: Southern California Edison Co.)



enquête n'a donc pas révélé de rapport général entre la présence d'une installation nucléaire dans un comté et la mortalité due à la leucémie ni, en fait, à aucune autre forme de cancer. Rappelons cependant que la présence dans certains comtés de populations nombreuses mais éloignées de l'installation peut diluer un effet qui serait réel dans un périmètre restreint autour de l'installation.

Nous ne pouvons pas affirmer que les installations nucléaires ne sont pas la cause de la mortalité due au cancer parmi les personnes qui résident à proximité. En revanche, nous pouvons conclure que, si ces installations nucléaires comportent un risque pour les populations avoisinantes, celui-ci est trop faible pour être détecté par une enquête comme celle que nous avons faite.

Bibliographie

1. «The global impact of the Chernobyl reactor accident», L.R. Anspaugh, R.J. Catlin et M. Goldman, *Science* 242:1513-1519 (1988).
2. *Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island*, J.G. Kemeny, Chairman, Washington DC (1979).
3. *Phase 1 of the Hanford Environmental Dose Reconstruction Project*, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, document PNL-7410HEDR (1990).
4. *Investigation of the Possible Increased Incidence of Cancer in West Cumbria: Report of the Independent Advisory Group*, Londres (1984).
5. *First Report: The Implications of the New Data on the Releases from Sellafield in the 1950s for the Conclusions of the Report on the Investigation of the Possible Increased Incidence of Cancer in West Cumbria*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), Londres (1986).
6. «Childhood leukaemia in northern Scotland», M.A. Heasman, I.W. Kemp, J.D. Urquhart et R. Black, *Lancet*, 1:266 (1986).
7. *Second Report: Investigation of the Possible Increased Incidence of Leukaemia in Young People Near the Dounreay Nuclear Establishment, Caithness, Scotland*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), Londres (1988).
8. *Third Report: Report on the Incidence of Childhood Cancer in the West Berkshire and North Hampshire Area, in Which are Situated the Atomic Weapons Research Establishment, Aldermaston and the Royal Ordnance Factory, Burghfield*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), Londres (1988).
9. «Cancer near nuclear installations», D. Forman, P. Cook-Mozaffari et S. Darbu et coll., *Nature* 329:499-505 (1987).
10. *Cancer Incidence and Mortality in the Vicinity of Nuclear Installations in England and Wales, 1959-1980*, P.J. Cook-Mozaffari, F.L. Ashwood, T. Vincent, D. Forman et M. Alderson, Office of Population Censuses and Surveys, Londres (1987).
11. «Geographical variation in mortality from leukaemia and other cancers in England and Wales in relation to proximity to nuclear installations, 1969-78», P.J. Cook-Mozaffari, S.C. Darby, R. Doll et coll., *Br J Cancer* 59:476-485 (1989).
12. «Cancer incidence patterns in the Denver metropolitan area in relation to the Rocky Flats plant», K.S. Crump, T.-H. Ng et R.G. Cuddihy, *Am J Epidemiol* 126:127-135 (1987).
13. «Cancer mortality around La Hague nuclear facilities», M. Dousset, *Health Physics* 56:875-884 (1989).
14. «Childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant», J.F. Viel et S.T. Richardson, *BMJ* 300:580-581 (1990).
15. «Overall mortality and cancer mortality around French nuclear sites», C. Hill et A. Laplanche, *Nature* 347:755-757 (1990).
16. «Incidence of leukaemia in young people in the vicinity of Hinkley Point nuclear power station, 1959-86», P.D. Ewings, C. Bowie, M.J. Philipps et S.A.N. Johnson, *BMJ* 299:289-293 (1989).
17. «Leukaemia near Massachusetts nuclear power plant», R.W. Clapp, S. Cobb, C.K. Chan et B. Walker Jr, *Lancet* 2:1324-1325 (1987).
18. «Cancer mortality patterns around the San Onofre nuclear power plant, 1960-1978», J.E. Enstrom, *Am J Public Health* 73:83-92 (1983).
19. *Childhood Leukaemia around Canadian Nuclear Facilities: Phase 1, Final Report*, E.A. Clarke, J. Mc Laughlin et T.W. Anderson, Atomic Energy Control Board, Ottawa, Ontario (1989).
20. «Fallout, radiation doses near Dounreay, and childhood leukaemia», S.C. Darny et R. Doll, *BMJ* 294:603-607 (1987).
21. *Cancer in Populations Living near Nuclear Facilities*, S. Jablon, Z. Hrubec, J.D. Boice Jr. et B.J. Stone, Public Health Service, US Dept. of Health and Human Services, NIH Publication 90-874, Bethesda, Maryland (1990).
22. *Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V), National Research Council, National Academy of Sciences, Washington DC, National Academy Press (1990).
23. *US Cancer Mortality Rates and Trends, 1950-1979*, W.B. Riggan, J. van Brugen, J.F. Acquavella, J. Beaubier et T.J. Mason, NCI/EPA Interagency Agreement on Environmental Carcinogens, Washington DC (1983).
24. *Statistical Methods in Cancer Research*, N.E. Breslow et N.E. Day, International Agency for Research on Cancer, Lyon (France), IARC Scientific Publication 82 (1987).
25. «Childhood leukaemia in the West Berkshire and Basingstoke and North Hampshire District Health Authorities in relation to nuclear establishments in the vicinity», E. Roman, V. Beral, L. Carpenter et coll., *BMJ* 294:597-602 (1987).
26. «Cancer near potential sites of nuclear installations», P. Cook-Mozaffari, S. Darby et R. Doll, *Lancet* 2:1145-1147 (1989).
27. «Lung cancer after employment in shipyards during World War II», W.J. Blot, J.M. Harrington, A. Toledo, R. Hoover, C.W. Heath Jr. et J.F. Fraumeni, *N Engl J Med* 299:620-624 (1978).
28. *Public Radiation Exposure from Nuclear Power Generation in the United States*, National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report 92, Bethesda, Maryland (1987).
29. «Results of case control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria», M.J. Gardner, M.P. Snee, A.J. Hall, C.A. Powell, S. Downes et J.D. Terrell, *BMJ* 300:423-429 (1990).
30. «Evidence for an infective cause of childhood leukaemia: Comparison of a Scottish new town with nuclear reprocessing sites in Britain», L. Kinlen, *Lancet* 2:1323-1327 (1988).