

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 97 (1971)  
**Heft:** 19: SIA spécial, no 4, 1971: 72e assemblée générale de la SIA

**Artikel:** Etude de l'implantation d'une usine - un cas concret  
**Autor:** Warner, Frederick  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-71247>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 22.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

relativement importants. On utilise également pour ce type de maisons des systèmes « meccano » ; l'ossature est métallique, les murs sont constitués de panneaux en béton de petite dimension, les cloisons sont en panneaux de plâtre alvéolé ou de particules — tous éléments standards qui relèvent d'une fabrication en grande série, donc économique.

Voilà ce qu'on peut dire sur la situation actuelle de l'industrialisation : des systèmes qui marchent, mais pas encore de bouleversements spectaculaires tant sur les prix que sur l'augmentation de la production.

Les deux se tiennent, et c'est une évidence que ce qui peut être construit à plus de 100.000 exemplaires doit revenir moins cher que ce qui ne sera construit qu'à quelques milliers.

Est-il pensable d'imposer le même type de logement à 100.000 exemplaires, par exemple, pour y parvenir. Certainement pas, car au-delà de la productivité il faut penser à la satisfaction de l'usager qui s'accommode mal d'un excès d'uniformité.

Il faut donc admettre que si le logement ne relève pas de la grande série, celle-ci pourrait par contre s'appliquer à ses éléments.

L'industrialisation des éléments est connue en France sous le nom de « Système ouvert ». Cela consiste à fabriquer non seulement pour sa propre consommation si l'on est constructeur, mais aussi pour celle des autres. Bien entendu cela implique de définir des règles précises :

- règles de coordination dimensionnelle, lesquelles ont été codifiées dans les normes françaises ;
- règles de qualité, qui se trouvent dans l'avis technique ou l'agrément.

En plus de ces règles qui permettront en quelque sorte d'établir un catalogue des éléments définis par les qualités et dimensions acceptées par les utilisateurs, il faudra que

ces derniers prennent de plus en plus l'habitude de se servir de ces éléments.

Il s'agit là d'une action de longue haleine pour le succès de laquelle de nombreux efforts devront être faits ; information pour tous, adaptation des plans par les architectes, incitation sous diverses formes de la part des pouvoirs publics.

Par ailleurs, il reste encore beaucoup à faire pour améliorer les techniques existantes, et pour créer des techniques nouvelles.

A titre d'exemple, il est certainement possible de perfectionner les procédés de production des panneaux de béton : mécanisation plus poussée, optimisation du chauffage, souplesse de fabrication ; on peut également améliorer la solution des problèmes de qualité d'aspect, de parementage, de finition superficielle, etc.

Dans le domaine des nouveautés, il est difficile de prédire ce qui sortira dans les prochaines années. Les difficultés proviennent de ce que, pour le moment, les gens du bâtiment sont assez mal informés des possibilités techniques dont disposent les autres branches industrielles et, réciproquement, ces autres branches ne sont pas suffisamment au courant des problèmes du bâtiment. Néanmoins, la création, dans ces autres industries, de secteurs bâtiment, même très embryonnaires, est la preuve d'une prise de conscience des problèmes futurs et de l'importance du marché potentiel que représente la construction de millions de logements dans la prochaine décennie.

Sans croire pour autant à la sortie prochaine du matériau ou du procédé miracle, on peut espérer que l'industrialisation du bâtiment ayant pris son second souffle ne fera qu'aller de l'avant.

Adresse de l'auteur :

A. Aigrot  
C. S. T. B. 4, av. du Recteur Poincaré  
75 Paris 16<sup>e</sup>

## Etude de l'implantation d'une usine — Un cas concret<sup>1</sup>

par SIR FREDERICK WARNER, président de la FEANI, Fédération européenne d'associations nationales d'ingénieurs, Londres

La difficulté qu'éprouve l'industrie chimique à réaliser des bénéfices suffisants a fait ressortir l'influence qu'exercent l'emplacement et la disposition de l'exploitation sur la rentabilité. Il est évident que ces facteurs sont souvent directement responsables des difficultés à atteindre les prévisions de vente ou des retards dans la mise en service. Mumford [1]<sup>2</sup> a mis en évidence les possibilités d'erreurs que comportent les prévisions, et Holroyd [2] le coût des retards. Ces deux facteurs prennent une importance croissante lorsque les dimensions de l'usine augmentent, même si elles sont prévues dans l'espoir de réduire l'influence des frais de capitaux sur ceux de fabrication.

### Dimensions et projets

L'économie que l'on escompte en dimensionnant convenablement l'usine est un problème plus familier aux ingénieurs chimistes qu'aux autres ingénieurs. On a dès longtemps établi des relevés graphiques des frais d'équipement sous forme de diagramme à double échelle logarithmique

dans lequel la variation du coût en fonction de la grandeur est représentée par des droites dont l'inclinaison est d'environ 0,6 %. Cette relation s'appelle « règle des 6 : 10 de Chilton » [3]. La voici sous forme d'équation :

$$\text{Coût} = k (\text{dimensions})^{0,6}.$$

Il en existe un certain nombre de variantes qui font l'objet de tableaux établis par Aries et Newton [4]. La plupart des parties d'usine sont conformes à la règle à cause du rapport fondamental entre la surface d'une enveloppe et son volume. Des divergences apparaissent lorsqu'on ne peut obtenir une dimension supérieure qu'en multipliant les unités de production. On doit à Woolcock [5] une étude générale des variantes. Un cas particulier avec un exposant

<sup>1</sup> Exposé présenté à l'issue de l'assemblée des délégués de la Société suisse des Ingénieurs et Architectes, le 13 décembre 1969 à Berne. Le texte original en anglais a paru dans *Long Range Planning*, mars 1969.

<sup>2</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

bien inférieur à 0,6 est fourni par les usines de séparation de gaz, où le coût du projet, du montage et de l'isolation forme un élément important et rigide du coût total.

### Autres frais

D'autres éléments du coût total d'une installation d'usine tendent en général à faire monter les valeurs de l'exposant au-delà de 0,6 %. Les bâtiments de stockage en particulier ne peuvent être soumis à la même règle des dimensions à cause des limites de longueur et de hauteur utiles. Pour d'autres travaux de génie civil tels que les fondations, les accès (routes, rails, ponts), l'économie est fonction de la dimension.

La contribution générale du coût de tous les travaux qui ne sont pas des constructions d'usine peut être élevée même lorsqu'on s'efforce de recourir au plein air dans toute la mesure du possible. Dans ce cas, les investissements pour les bâtiments et les installations peuvent ne représenter que le 25 % du total, mais ils dépassent en général le 30 %. En revanche, lorsqu'il y a lieu de construire un bâtiment de quelque importance, la proportion peut friser le 50 %. En bref, le coût atteint le double des unités-limites d'ensembles.

Ce chiffre met en lumière les avantages que l'on aura à choisir l'emplacement de l'usine dans le cadre d'un ensemble déjà existant. En englobant les services auxiliaires dans le cadre général de ceux d'autres projets, on pourra construire l'ensemble à un coût moyen inférieur. La mise en commun d'installations telles que les ateliers d'entretien est rendue possible par l'aménagement convenable des horaires des équipes. L'administration générale et la cantine, le service de lutte contre l'incendie et l'infirmerie sont des exemples de services dont il n'est nul besoin de prévoir une extension.

### Facteurs d'implantation

Toutes ces possibilités d'économie sont affectées par les restrictions de la liberté de choix pour l'emplacement et les plus-values différentielles ainsi que par d'autres facteurs, qui seront examinés par ailleurs. Toute entreprise d'une certaine importance et les entreprises nouvelles au Royaume-Uni se trouvent en butte à de fortes pressions pour qu'elles s'établissent dans les régions dites en voie de développement. La pression exercée est d'ordre social : il s'agit de créer de nouvelles possibilités d'emploi dans les régions souffrant d'un taux de chômage élevé. L'industrie chimique en général n'est pas une des mieux vues, parce qu'elle tend à être fortement automatisée et nécessite beaucoup de capitaux. L'attrait des subventions gouvernementales fait pencher la balance dans bien des cas.

La figure 1 montre les régions en voie de développement du Royaume-Uni. Les subventions disponibles varient selon les années; au moment où nous rédigeons ces lignes, elles sont de l'ordre de 40 % pour la plupart des régions, mais le système des subventions est en train d'être remplacé par des remises d'impôts pendant les premiers exercices.

On choisira de préférence le site d'implantation dans ces régions, à la condition toutefois qu'il soit satisfait aux conditions préliminaires suivantes :

1. Existence d'un réservoir de main-d'œuvre convenable.
2. Existence de voies d'accès aux sources d'approvisionnement et au réseau de distribution.
3. Alimentation en eau et en énergie assurée.
4. Possibilité d'éviter de polluer l'air et l'eau et d'enlaidir l'environnement.



Fig. 1. — Régions du Royaume-Uni en voie de développement.

5. Site convenable pour les travaux de fondation (exigeant un minimum de travaux de régularisation du terrain), absence de risques d'inondations et de tassements.

L'étude d'un cas réel illustrera le développement du projet de construction d'une nouvelle usine. Toutes les critiques concernant le projet ont été avancées et réfutées lors de la mise à l'enquête publique du projet formé par Rio Tinto Zinc de construire une usine de traitement de

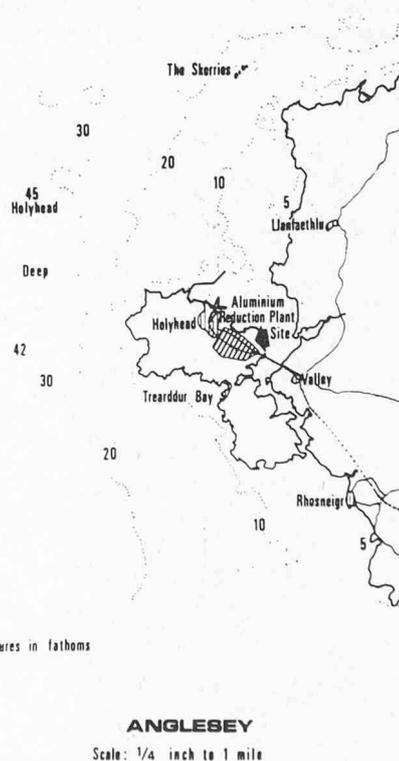


Fig. 2. — Emplacement d'une usine de traitement de l'aluminium, capacité 120 000 t par an. Les chiffres représentent des brasses (1 brasse = 1,829 m.). Ech. 1/4 pouce = 1 mille.

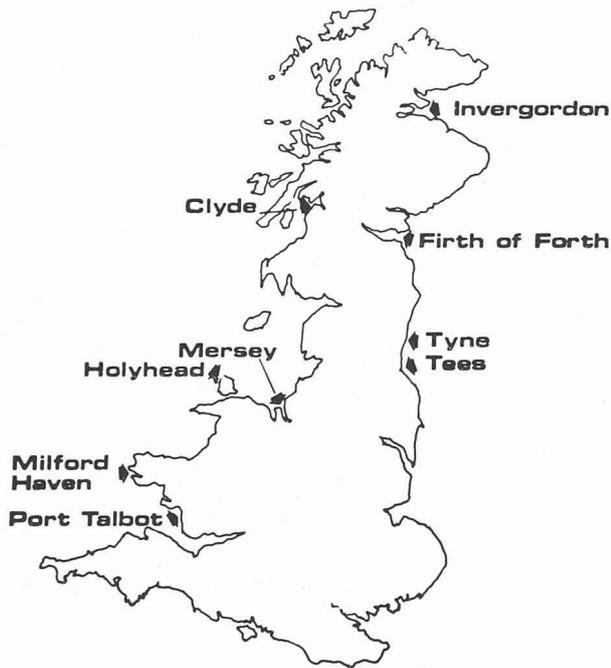


Fig. 3. — Installations portuaires en eau profonde.

l'aluminium à Anglesey. L'étude de base a été réalisée par les géomètres-conseils Davidge & Partners avec l'aide de conseillers pour certains domaines spécialisés.

**Etude d'un cas**

Le problème consistait à trouver un emplacement pour une usine pouvant traiter 120 000 tonnes d'aluminium par an dans la région indiquée en figure 2, qui fournissait :

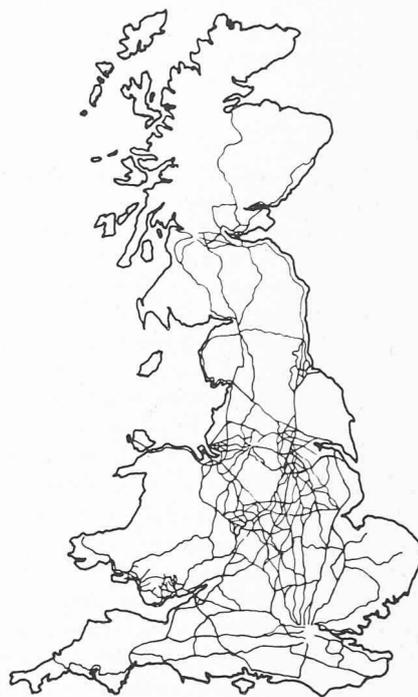


Fig. 5. — Réseau des routes principales.

1. Des installations en eau profonde permettant de recevoir livraison de la matière première par grandes unités maritimes (les emplacements convenables sont montrés en figure 3).
2. De bonnes possibilités de transporter les produits finis. Les principales lignes de transport des marchandises par rail sont représentées à la figure 4 et les routes nationales à la figure 5. La figure 6 montre



Fig. 4. — Principales lignes de transport par rail.

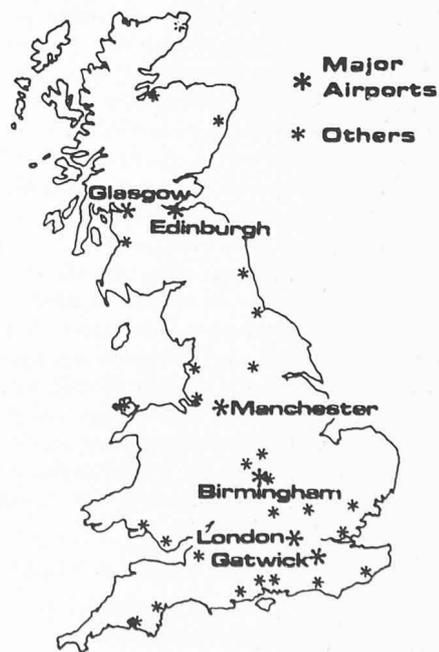


Fig. 6. — Aérodomes.  
\* aéroports principaux ; \* autres aéroports.

C = Chester  
 E = Edinburgh  
 G = Glasgow  
 H = Holyhead  
 I = Inverness  
 M = Middlesbrough  
 PT = Port Talbot

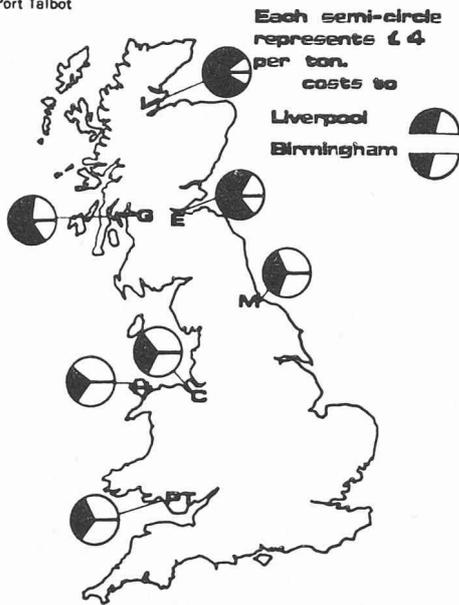


Fig. 7. — Coût du transport par rail vers les principaux centres de consommation. Chaque demi-cercle représente la valeur de £ 4 vers Liverpool ou Birmingham.

Quality

Good  
 Medium  
 Poor



Fig. 8. — Terrains classés d'après leur valeur agricole. Qualités: ≡ bonne, ≡≡ moyenne, □ mauvaise.



Fig. 9. — Carte des cultures.

● cultures maraichères,  
 ≡ pâturages pour vaches laitières,  
 ≡≡ pâturages à moutons,  
 ≡≡≡ élevage.

A = Anglesey  
 C = Chester  
 F of F = Firth of Forth  
 G = Glasgow  
 I = Inverness  
 M = Middlesbrough  
 MH = Milford Haven  
 PT = Port Talbot

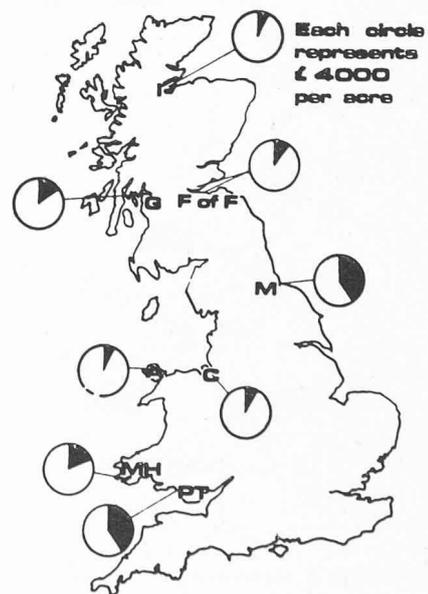


Fig. 10. — Valeurs des terrains.

Chaque cercle représente £4000 par acre.

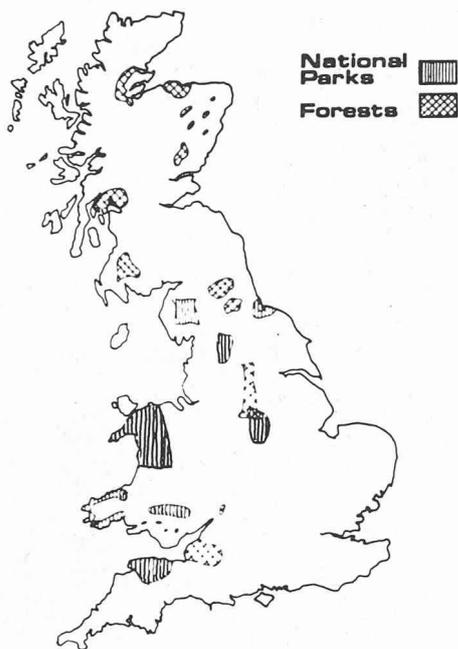


Fig. 11. — Parcs nationaux et forêts.



Fig. 12. — Réseau d'interconnexion des usines de production d'énergie.

- / réseau d'interconnexion,
- △ usine nucléaire,
- usines classiques de plus de 400 MW.

les aérodromes, qui comptent d'ailleurs plus pour les restrictions de construction imposées dans les couloirs aériens que pour les facilités de communication qu'ils procurent. La figure 7 enfin met en évidence les frais de transport par rail et camionnage vers les principaux centres de consommation à partir d'un certain nombre d'emplacements.

3. La possibilité de minimiser les dégâts causés à l'agriculture et à l'environnement local. L'installation devrait pouvoir profiter de terrains à bon compte, dont elle nécessite une superficie appréciable par rapport à la main-d'œuvre employée. La figure 8 montre le terrain classé selon sa valeur agricole, la figure 9 le plan des cultures, la figure 10 les valeurs comparées du terrain et la figure 11 les parcs nationaux et les forêts.
4. L'accès aux sources d'énergie à des tarifs économiques pour la production d'aluminium. La figure 12 illustre le réseau d'interconnexion des usines de production d'énergie nucléaire et classique de plus de 400 MW de capacité. Le choix de l'énergie à bas tarif qui sera préférée en définitive est encore en discussion afin d'arriver à établir le coût réel de l'énergie sans distorsion de critères économiques fondamentaux. Ce problème a été compliqué par des discussions politiques sur le prix du charbon et les infractions éventuelles au GATT (General Agreement of Tariffs and Trade). Cet accord général sur les tarifs et le commerce est invoqué avant tout par les producteurs d'aluminium établis, principalement les pays ayant accès à l'énergie hydro-électrique. On n'a toutefois jamais pu établir si le coût de l'énergie hydro-électrique est périodiquement réévalué pour tenir compte de l'amortissement des investissements comme nous calculons ici le coût de l'énergie.
5. Des conditions météorologiques et de marées favorables, pour réduire à un minimum la pollution de l'air et des eaux. Les emplacements favorables à ce point de vue présentent souvent des problèmes par leur situation dans des régions côtières précieuses comme zones de détente. Parfois aussi le paysage mérite d'être sauvegardé, excluant de ce fait toute installation industrielle. La région d'Anglesey présente le moins de complications parce qu'elle se trouve près d'une zone urbaine souffrant de chômage mais ayant une politique de logement active. Le premier facteur (dont les chiffres sont montrés à la figure 13) a été déterminant pour classer cette région en zone à développer.

Les objections dues à la crainte de voir polluer l'atmosphère sont d'un intérêt particulier et feront l'objet d'un examen détaillé à cause de l'importance qu'on leur a attribuée lors de la mise à l'enquête du projet. La figure 14 montre, pour une série d'emplacements, les vents dominants qui chasseraient les émanations vers la haute mer. Les cercles illustrent les fréquences relatives des vents dans huit directions.

La pollution atmosphérique dans une usine d'aluminium peut être due aux opérations d'électrolyse (par électrodes précurées fabriquées sur place ou du type Soderberg). La pollution éventuelle sous forme de fumées et de dioxyde de soufre serait un problème classique. Ce sont davantage les dégagements de fluorures gazeux ou solides, émanant du bain de cryolithe et de spath fluor qui forment le milieu

conducteur pour l'électrolyse de l'aluminium, qui sont une source de soucis.

Ce bain est maintenu à la température de 960°C et les réactions chimiques se produisant à l'anode provoquent l'émanation de monoxyde et de dioxyde de carbone ainsi que de fluorures sous forme gazeuse. Le gaz entraîne aussi des particules de fluorures solides provenant soit du bain, soit des adjonctions qui sont faites pour compléter sa teneur en fluorures. Du fluorure sous forme solide et gazeuse s'échappe ainsi par ventilation des installations, en partie par les ouvertures de ventilation des locaux de traitement, en partie par les hottes des bacs de réaction. Les fluorures en effet peuvent affecter la santé des humains, des animaux et des végétaux.

### Facteurs humains

Pour protéger le personnel de l'exploitation contre les poussières et émanations nocives, l'Inspection des fabriques se fonde sur des valeurs limites de concentration dans l'air. Cette concentration limite peut être supportée de manière répétée pendant huit heures par jour sans effet nocif. Pour un mélange à 50/50 de HF gazeux et de composés fluorés particuliers, la valeur limite totale est estimée à 2,22 mg/m<sup>3</sup>. Il faut donc chercher à obtenir des niveaux bien inférieurs aux valeurs limites pour tenir compte de l'exposition permanente à laquelle est soumise la population résidant dans les proches environs.

L'office d'inspection des installations de lutte contre les émanations nocives en fixant la concentration maximum admissible pour les émanations polluant l'atmosphère à la source et une concentration maximale admissible (c.m.a.) au sol sur la base d'échantillons prélevés à un certain point pendant trois minutes. Selon les procédures normales, la concentration maximum admissible pendant trois minutes serait de 75 µg/m<sup>3</sup> de fluor total. A un point donné, la concentration maximale admissible pour trois minutes se produira selon la fréquence des vents soufflant depuis la source de pollution. Sur une longue période, cette c.m.a. doit être facteur moyen du temps par 30 à 80. Cela donne 1-2 µg/m<sup>3</sup> pour une concentration moyenne à longue échéance. L'air contenant des fluorures dans cette proportion peut être absorbé de façon continue sans risque toxique, puisque la teneur totale en fluorures est inférieure à la dose thérapeutique humaine de maintien.

### Facteurs végétaux

Les fluorures atmosphériques peuvent provoquer la chlorose et la nécrose de la végétation. La croissance et les récoltes pâtissent de concentrations subcliniques. La tolérance varie selon les variétés d'une dose aussi élevée que 180 µg/m<sup>3</sup> à la dose très faible de 2-3 µg pour les glaiéuls.

Les fluorures sont plus nocifs sous forme gazeuse que particulière, parce qu'ils sont absorbés directement sous cette forme, tandis que les particules sont plus facilement éliminées par les précipitations. Les feuilles d'arbres peuvent être endommagées, mais, dans les régions côtières, elles peuvent aussi souffrir des embruns. Le blé n'en est pas affecté, mais les fourrages absorbent les fluorures et sont ainsi le véhicule principal d'un risque d'atteinte à la santé.

### Le facteur animal

L'inhalation d'air pollué à la concentration maximale admissible pour la santé publique ne présente aucun risque



Fig. 13. — Carte du chômage en % en août 1967.

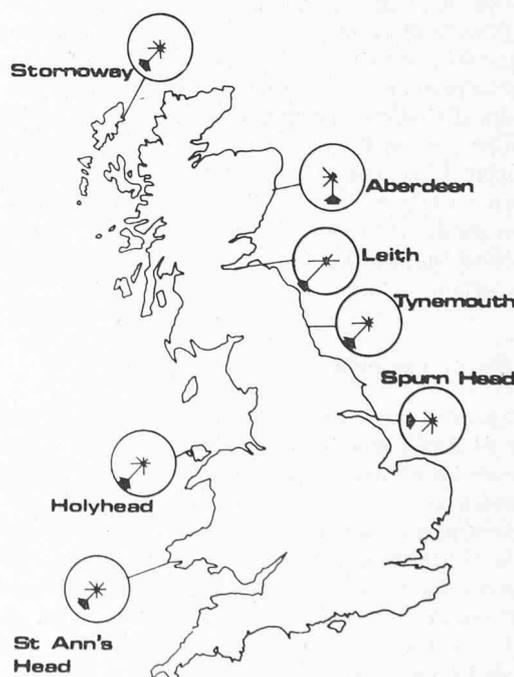


Fig. 14. — Direction des vents prédominants capables d'entraîner les émanations polluantes au large.

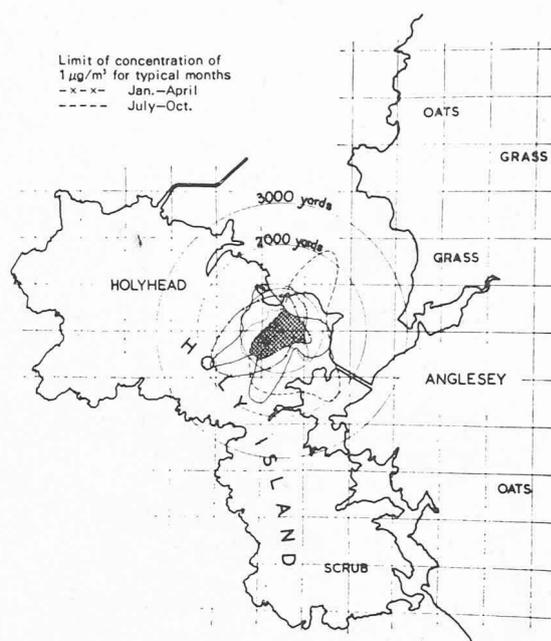


Fig. 15. — Concentration moyenne des fluorures gazeux aux alentours de l'emplacement choisi.

Limites de la concentration de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pendant les mois types:  
 -x-x-x-x Janvier-avril,  
 - - - - - Juillet-octobre.

pour les animaux. L'ingestion de fluor avec le fourrage peut au contraire causer la fluorose. Burns et Allcroft [6] ont résumé l'état des connaissances sur l'effet du fluor sur le bétail. Selon les concentrations ingérées, les dégâts peuvent aller de l'émail légèrement moucheté à la paralysie. Le bétail le plus sensible est la vache laitière pour qui la dose maximale admissible est de 30-50 mg de fluorure soluble par kg de fourrage total par jour.

En Grande-Bretagne, la teneur moyenne en fluorures des herbages est normalement de 5 mg, l'échelle allant de 2 à 16 mg. La présence dans l'atmosphère de fluorures émis par une usine d'aluminium peut augmenter ce taux. Il semblerait qu'on peut admettre que les pâturages exposés continuellement à une concentration fluorée dans l'atmosphère supérieure à  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  peuvent développer des concentrations de fluorure de 30-35 mg/kg dans l'herbe sèche. A ces concentrations, les vaches laitières se trouveraient au seuil d'un risque certain.

### Mesures de sécurité

L'objectif d'un système d'évacuation des fumées de l'usine de Rio Tinto Zinc à Anglesey serait de freiner au maximum les émanations en fermant les bacs, de purifier les fumées et d'évacuer les fluorures résiduels par des cheminées particulièrement hautes. Il est possible de calculer la concentration totale de fluorure au sol due aux émanations des cheminées et à la ventilation des bâtiments. La formule de dispersion établie par Sutton [7] est utilisée conjointement avec les données météorologiques fournies par l'aérodrome voisin de Valley Airfield.

La figure 15 montre les environs de l'exploitation où la concentration totale de fluor à l'état gazeux peut atteindre  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en janvier, avril, juillet et octobre. Seule la région hachurée en croix est susceptible d'être sujette de manière continue à cette concentration. On a tracé des cercles concentriques de 1000 et 2000 yards de rayon : dans l'espace ainsi délimité, il se produit une exposition intermittente et au-delà de 2000 yards il y a peu de risque d'une accumulation de fluorure pouvant provoquer des lésions éventuelles au premier degré.

### Conclusion

On espère que ce cas particulier illustrera le soin qui devrait de nos jours présider à l'étude, par les grandes entreprises et les pouvoirs publics, de projets de construction et des emplacements destinés à l'établissement d'usines nouvelles. La mise en œuvre du volume croissant des connaissances techniques pour mettre sur pied une opération viable au point de vue commercial, qui tienne compte des intérêts bien compris du pays en respectant la santé publique et l'environnement, exige non seulement des connaissances techniques approfondies, mais encore l'esprit de synthèse indispensable pour coordonner des disciplines si diverses. Même les plus grandes sociétés éprouvent des difficultés croissantes à réunir les spécialistes disposant ensemble d'une expérience assez vaste pour leur permettre d'établir des évaluations prudentes et objectives. Il appartient à la direction de nos industries de transformation d'examiner les ressources disponibles et de décider si leur équipe est assez complète pour entreprendre l'étude approfondie des problèmes posés et en tirer, en toute connaissance de cause, les conclusions qu'impose une prise en considération réaliste de la situation.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] L. S. MUMFORD : « The Loneliness of the Long-Range Forecaster », *Chem. Ind.*, 1963,1788.
- [2] Sir RONALD HOLROYD : « Ultra-Large Single Stream Chemical Plants : their Advantages and Disadvantages », *Chem. Ind.*, 1967,1310.
- [3] C. H. CHILTON : « Six-tenths Factor applies to Complete Plant Costs », *Chem. Engng.*, Albany, April 1950.
- [4] R. S. ARIES and R. D. NEWTON. *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York : McGraw-Hill, 1955.
- [5] A. B. WOODIER, and J.W. WOOLCOCK : « The ABC of the 0.6 Scale-up Factor », *Eur. Chem. News*, Large Plants Suppl. September 1965.
- [6] K. N. BURNS, and R. ALLCROFT : « Fluorosis in Cattle : Occurrence, diagnosis and alleviation », Zurich : Publikation der IV. Internationalen Tagung der Weltgesellschaft für Buiatrik, 4-9 August 1966.
- [7] O. G. SUTTON : « The Theoretical Distribution of Airborne Pollution from Factory Chimneys », *Q. Jl. R. Met. Soc.* 1947, 73, 426.

Adresse de l'auteur:

Sir Frederick Warner,  
 140 Buckingham Palace Road,  
 Londres, S.W.1.