

# ATARI®



## **CENTRALE NUCLEAIRE**

ATARI 600XL ou ATARI 800XL  
ATARI 400 ou ATARI 800

© 1980 ATARI, Inc.

ATARINSIDE



## CENTRALE NUCLEAIRE

ATARI 600XL ou ATARI 800XL  
ATARI 400 ou ATARI 800

© 1980 ATARI, Inc.

### Copyright et copie :

A l'achat de ce programme pour ordinateur et de sa documentation associée (le logiciel), vous obtenez le droit d'utiliser ce logiciel pour votre usage personnel seulement sans en effectuer de copies. Ce logiciel est déposé. Il vous est interdit de le reproduire, le traduire ou le dupliquer sans l'autorisation écrite d'Atari Inc.,

ATARI INSIDE

## GARANTIE

Conformément à la loi, la présente vente est soumise à la garantie légale des défauts et vices cachés.

Nous garantissons, pendant 30 jours après la date d'achat, que le support sur lequel ce programme ATARI® est enregistré, ne comporte aucun défaut.

Si toutefois, il se trouvait que ce programme ne puisse se charger normalement, et que la disquette, la cassette ou la cartouche ci-incluses en soit la cause, veuillez le rapporter à votre revendeur avec une preuve d'achat datée, afin qu'il puisse appliquer la garantie qui se borne strictement à l'échange de ce programme par un autre identique, dans les meilleurs délais.

Cette garantie ne s'applique plus dès lors que le support montre des signes évidents et anormaux d'usure, de contraintes mécaniques (pliures, déformations dues à la chaleur, froissage de la bande, tentative de démontage ou d'ouverture du support, etc.) ou de mauvaise utilisation ou détérioration (renversement d'un liquide sur le support, empreinte de doigts sur les parties magnétiques, altération électromagnétique, etc.). La garantie est aussi exclue si ce produit n'est pas d'origine ATARI ou s'il a été modifié par quiconque autre que par les techniciens ou ingénieurs d'ATARI.

L'acheteur est tenu, dès son acquisition, de mettre à l'épreuve le logiciel de ce programme ATARI, de vérifier la véracité de ses résultats et de signaler sur le champ toute anomalie éventuelle à son vendeur afin que celui-ci puisse en faire vérifier l'exactitude par ATARI en le retournant pour son remplacement, dans les meilleurs délais.

## MARQUES DÉPOSÉES D'ATARI

Les Marques et noms suivants sont des marques déposées d'ATARI, INC.

ATARI (R)	
ATARI 600XLtm	Ordinateur-Maison
ATARI 800XLtm	Ordinateur-Maison
ATARI 1010tm	Magnétocassette
ATARI 1050tm	Unité de disquette
ATARI 1020tm	Imprimante graphique 4 couleurs/40 colonnes
ATARI 1027tm	Imprimante 80 colonnes
ATARI 1064tm	Extension mémoire à 64 ko MEV pour 600XL

ATARI 800tm	Ordinateur-Maison
ATARI 410tm	Ordinateur-Maison
ATARI 810tm	Ordinateur-Maison
ATARI 850tm	Module d'interface

\*\*\*\*\*

Distribué par

The ATARI Program Exchange  
P.O. Box 427  
155 Moffett Park Drive, B-1  
Sunnyvale, CALIFORNIA 94086

Pour obtenir un catalogue de tous les produits APX, contactez votre revendeur ou le représentant d'ATARI dans votre pays.

\*\*\*\*\*

# ATARI INSIDE



## PREFACE

### "CENTRALE NUCLEAIRE"

Université de CHICAGO, le 2 Décembre 1942, 15h36

Un groupe de scientifiques est réuni pour diriger une grande expérience. Ils vont démarrer le premier réacteur nucléaire du monde. Que va-t-il se passer? Personne ne sait vraiment. Il y a deux problèmes de base: comment lancer le réacteur et ...peut être plus important... comment l'arrêter une fois lancé. Quelles forces vont-ils libérer s'ils ne peuvent l'arrêter rapidement?

Trois systèmes de sécurité sont prévus. Un système électrique automatique, un système chimique piloté par trois scientifiques au sommet du réacteur, et un système de barres de contrôle nommé "ZIP". ZIP peut être descendu dans le réacteur par un système de balancier. Pour démarrer la réaction, ZIP doit être sorti du réacteur, et maintenu en place avec des filins. Un scientifique peut sectionner les filins en cas de mauvais fonctionnement, ce qui fait tomber ZIP dans le coeur et stoppe la réaction. Il surveille attentivement le chef du groupe, Enrico Fermi. Un mot de celui-ci et il coupe les cables. Fermi ne dira rien. Le réacteur fonctionne parfaitement.

Three Mile Island, 28 Mars 1979, 4h

Dans l'unité 2 de la centrale de Three Mile Island, une vanne du système de condensation se bloque. En quelques secondes, les pompes du circuit principal tombent en panne, les turbines s'arrêtent, et les générateurs de vapeur sont à sec. A 4 heures 01, une voix dans les haut-parleurs annonce: "Une turbine en panne et le réacteur en alerte rouge...". Personne ne s'attendait à cet incident.

## SOMMAIRE

PREFACE .....	1
1 INTRODUCTION AU PROGRAMME .....	5
Age .....	5
But .....	5
Développements .....	5
Types d'utilisation .....	5
2 MISE EN OEUVRE .....	6
Matériel nécessaire .....	6
Chargement de la cassette .....	6
3 CONSTRUCTION DE LA CENTRALE "SILICON VALLEY" .....	8
4 COMMENT UTILISER LA SIMULATION .....	9
5 STAGE DE FORMATION .....	10
Visite de la centrale nucléaire .....	10
Vue générale .....	10
Circuit primaire (RCS) .....	11
Circuit secondaire (MFS) .....	14
Circuit tertiaire (CWS) .....	15
Système d'injection haute pression HPI .....	16
Système auxiliaire du circuit secondaire .....	16
Fin de la visite .....	17
Fonctionnement de l'usine .....	17
Descente des barres de contrôle .....	18
Ouverture des vannes et mise en marche des pompes .....	18
Fonte du réacteur .....	18
Votre nouvelle centrale nucléaire .....	18
6 THERMODYNAMIQUE .....	19
Principes de base du transfert de chaleur .....	19
Gradient de température .....	19
Conductivité thermique .....	21
Conductivité thermique et gradient de température .....	21
Rétroaction thermique .....	21
Le principe de pression .....	22
Pression et point d'ébullition .....	22
L'eau bout .....	23
Comment contrôler l'ébullition de l'eau .....	23
Quand la pression est trop haute .....	23
Pertes dans le circuit de refroidissement .....	23
Le pressuriseur .....	24
Quand la pression est trop basse .....	24
7 INDICATEURS DE CONTROLE DE LA CENTRALE .....	25
Température .....	25
Température du réacteur .....	25
Température des circuits .....	25
Pression et point d'ébullition .....	26



Niveau d'eau .....	26
Générateur de vapeur .....	26
Système d'injection haute pression .....	26
Sortie du générateur .....	26
Pratique .....	26
<b>8 LE JEU DE LA CENTRALE NUCLEAIRE .....</b>	<b>27</b>
Score .....	27
Qualification .....	27
Si vous faites fondre le réacteur .....	27
Comment jouer .....	27
Construire une centrale nucléaire .....	27
Augmentation du niveau de risque .....	28
Détection des pannes dues aux tremblements de terre .....	28
Envoi des ouvriers .....	28
Pour arrêter le réacteur .....	29
A vous de jouer .....	29
<b>9 COMMENT GAGNER AU JEU DE LA CENTRALE NUCLEAIRE .....</b>	<b>30</b>
<b>ADDITIF .....</b>	<b>32</b>
Exactitude de la simulation .....	32
L'accident de Three Mile Island .....	32
<b>TABEAU DES SCORES .....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUCTION AU PROGRAMME

Age: à partir de 12 ans

### BUT

Le programme CENTRALE NUCLEAIRE est plus qu'un jeu. C'est une simulation éducative, qui montre par un jeu les principes d'une centrale nucléaire.

Nous commençons par construire une centrale nucléaire sur le modèle de THREE MILE ISLAND Unité 2. Quand la construction est terminée, nous amenons le joueur à suivre notre programme d'entraînement. Ce dernier lui permet de comprendre comment la centrale transforme l'énergie nucléaire en électricité tout en permettant au joueur de la faire fonctionner lui-même. Il arrivera alors à "échauffer" le coeur du réacteur.

La dernière phase du programme d'entraînement est un examen présenté sous la forme d'un jeu. Il permet de tester le joueur sur son habileté à conduire une centrale nucléaire dans des conditions d'urgence. Alors que le tremblement de terre brise un à un les composants vitaux de la centrale, le joueur s'efforce de la faire fonctionner au mieux. Il doit produire le plus d'électricité possible, et dans le même temps, trouver et changer les composants hors d'usage. C'est une course contre la montre. Le joueur arrivera-t-il à stopper l'emballement du réacteur avant que le coeur n'explose?

Si vous désirez une aide complémentaire, reportez-vous au chapitre intitulé "COMMENT GAGNER AU JEU DE LA CENTRALE NUCLEAIRE". De plus, l'additif contient des informations sur les limites du jeu et un compte-rendu de l'accident de Three Mile Island. Cet accident devient compréhensible au joueur ayant pris la peine d'étudier la simulation de la centrale nucléaire.

### DEVELOPPEMENTS

Le jeu de la CENTRALE NUCLEAIRE développe certaines habiletés comme:

- . la pensée logique
- . la compréhension des problèmes d'un système complexe
- . la compréhension des relations cause à effet
- . l'analyse des problèmes et leur résolution effective

### TYPES D'UTILISATION

- . Education
- . Récréation
- . Intérêt personnel

## 2 MISE EN OEUVRE

### MATERIEL NECESSAIRE

- 1-Ordinateur-Maison ATARI 800, ATARI 800,  
ou ATARI 600XL avec extension-mémoire 1064, soit:
  - . Au minimum 48 ko MEV
  - . Cartouche de langage BASIC ATARI (pour ATARI 800)
- 2-Commande à levier
- 3-Magnétocassette ATARI 1010 ou ATARI 410
- 4-Cassette du programme CENTRALE NUCLEAIRE

### CHARGEMENT DE LA CASSETTE

1-Connectez votre Ordinateur-Maison ATARI à votre téléviseur.

2-Branchez le câble de liaison du magnétocassette ATARI à la prise située sur le côté droit de l'ordinateur.

NOTE: si d'autres périphériques sont connectés à l'ordinateur (unité de disquette ou imprimante), reliez le magnétocassette au dernier périphérique de la chaîne.

3-Mettez sous tension le magnéto-cassette.

4-Si vous possédez un Ordinateur-Maison ATARI 800, insérez la cartouche Basic ATARI dans la fente prévue à cet effet sur votre ordinateur.

5-Branchez la fiche de la manette de commande dans le port numéro 1 situé sur le devant gauche de l'ordinateur.

6-Mettez sous tension votre téléviseur.

7-Introduisez la cassette CENTRALE NUCLEAIRE dans votre lecteur de cassette ATARI. Rembobinez-la et remettez le compteur du magnétocassette à zéro.

8-Appuyez sur la touche PLAY du lecteur de cassette.

9-Enfoncez ensuite la touche START de votre Ordinateur-Maison et maintenez-la dans cette position tandis que vous mettez l'ordinateur sous tension, en basculant la touche POWER sur ON.

10-Vous entendrez alors un signal sonore vous indiquant que le système est prêt à charger votre programme.

11-Relâchez alors la touche START de l'ordinateur et appuyez sur la touche RETURN.

12-La bande de la cassette va défiler et vous entendrez le programme se charger dans la mémoire de l'ordinateur. Soyez patient... cela prend un peu de temps !

Le chargement est terminé lorsque le dessin de la centrale nucléaire apparaît à l'écran.

Ecoutez le bruit des turbines. Si vous ne l'entendez pas, augmentez légèrement le volume sonore de votre téléviseur.

13-Rembobinez la bande en appuyant sur la touche REWIND.

NOTA: Rembobinez toujours la bande afin de la protéger contre l'oxydation, ce qui pourrait l'endommager.

### NOTES

1-Si vous constatez des problèmes de chargement et si vous avez plusieurs périphériques connectés en chaîne, reliez directement le magnétocassette à l'ordinateur et recommencez toutes les opérations.

2-Au cours du jeu, si vous n'utilisez pas la commande à levier ou le clavier pendant 9 minutes, les couleurs de l'écran se modifient afin d'éviter la détérioration de votre écran. Pour revenir aux couleurs d'origine, tapez sur une touche du clavier.

### 3 CONSTRUCTION DE LA CENTRALE

#### SILICON VALLEY

Lancer la construction d'une centrale dure généralement cinq ans. Nous allons le faire plus rapidement!

Lorsque vous entendez les moteurs des turbines, la centrale est prête.

### 4 COMMENT UTILISER LA SIMULATION

La centrale nucléaire que vous voyez sur votre écran est appelée Centrale de la Silicon Valley. C'est une simulation ou une vue simplifiée du fonctionnement d'une centrale nucléaire. Comme la centrale de Three Mile Island, la centrale de Silicon Valley produit de l'électricité en transformant l'énergie du réacteur nucléaire en énergie calorifique destinée aux turbines qui font tourner les générateurs électriques.

Dans le chapitre suivant, vous apprendrez comment mettre en marche la centrale. Nous avons élaboré un programme de fonctionnement capable de vous faire devenir l'opérateur. Commençons par une visite de la station. Vous voyez comment les machines sont construites pour acheminer la chaleur des réacteurs aux générateurs électriques, et vous apprenez le rôle de chacune des pièces principales. Puis vous ferez quelques expérimentations sous contrôle et noterez ce qui se passe dans le système. Vous baisserez les barres dans le coeur du réacteur, ouvrirez et fermerez les vannes, accélérerez ou ralentirez les pompes. Vous aurez une chance de bien faire fonctionner le réacteur...le seul but de votre programme d'entraînement.

Dans le chapitre 6, vous apprendrez comment la circulation de chaleur est affectée par les changements de température et de pression. Ce cours appelé THERMODYNAMIQUE vous préparera à lire les cadrans de contrôle de la centrale. Ces indicateurs, présentés dans le chapitre 7, vous informerons sur la température, la pression, et l'énergie produite dans la centrale. Si vous assimilez rapidement ces données, vous serez qualifié à votre examen.

Le jeu CENTRALE NUCLEAIRE teste votre habileté à produire de l'électricité dans des conditions d'urgence, sans que le réacteur ne s'emballe. Au chapitre 8, nous passerons au jeu lui-même. Mais tout d'abord, vous devez savoir comment cela fonctionne.



## 5 STAGE DE FORMATION

### VISITE DE LA CENTRALE

La centrale "SILICON VALLEY" utilise un réacteur à eau pressurisée. Trois circuits d'eau permettent de transférer la chaleur du réacteur vers les turbines et vers la tour de refroidissement. Celle-ci permet d'évacuer dans l'air ambiant les calories restantes et renvoie l'eau ainsi refroidie dans le troisième circuit d'eau.

Faisons maintenant le tour de la centrale pour voir comment travaille le système de transfert de chaleur, puis nous verrons plus en détail les principaux composants de la centrale.

### VUE GENERALE

La chaleur utilisée pour générer l'électricité est produite par fission nucléaire (réaction en chaîne) dans le cœur du réacteur. Fission veut dire simplement division. La fission nucléaire est le processus de division du noyau des atomes d'un produit fissible comme l'uranium 235. Le noyau est divisé par un bombardement de particules nommées "NEUTRONS". Quand le noyau se divise, il libère d'autres neutrons, dont certains vont aller désintégrer d'autres noyaux. Ainsi, une réaction en chaîne est amorcée. La fission libère aussi de l'énergie dont une grande partie apparaît sous forme de chaleur.

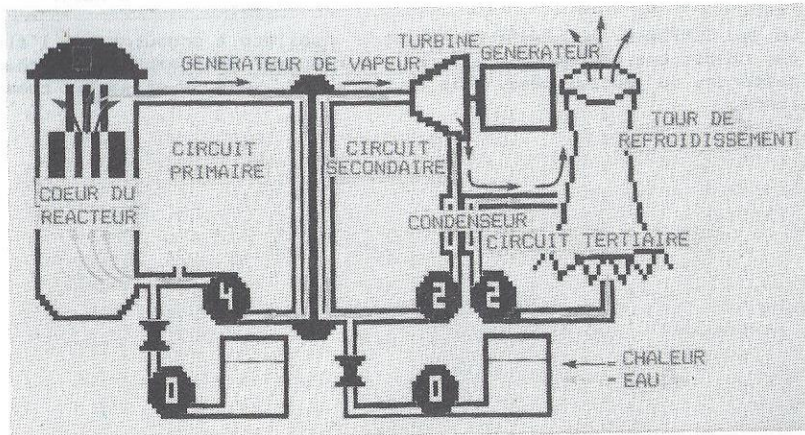


Figure 1 - Transfert de chaleur dans le système à eau pressurisée

Regardez le schéma 1. La chaleur produite par la fission nucléaire dans le cœur du réacteur, se dissipe dans l'eau froide entourant ce dernier et est ainsi véhiculée par la circulation d'eau dans le circuit primaire vers le générateur de vapeur. Ce dernier est un échangeur de chaleur: il permet le passage de la chaleur du circuit primaire dans l'eau du circuit secondaire qui se transforme ainsi en vapeur. La vapeur sous pression entraîne les turbines qui font alors tourner les générateurs électriques. Une turbine et un générateur couplés se nomment "turbogénérateur".

La vapeur sortant des turbogénérateurs passe dans un condenseur. Ce condenseur refroidit la vapeur par échange avec l'eau du circuit tertiaire. Ce circuit amène la chaleur dans la tour de refroidissement qui la transfère dans l'air ambiant.

Maintenant, nous allons retourner au point de départ de notre visite et regarder le système plus en détails.

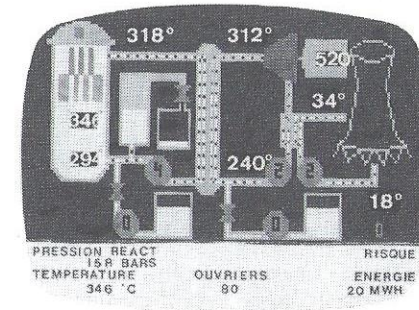


Figure 2 - Unité 2 de la centrale SILICON VALLEY

### CIRCUIT PRIMAIRE (Système de refroidissement du réacteur)

Le circuit primaire est connu sous le nom de RCS (Reactor Coolant System). Le circuit commence par les quatre pompes RCS (représentées par l'octogone vert portant le chiffre 4) qui envoient l'eau froide vers le réacteur. L'eau refroidit le cœur en absorbant la chaleur qui s'en dégage et en la transférant hors du réacteur. L'eau arrive dans le générateur de vapeur qui transfère la chaleur dans le circuit secondaire. L'eau, ainsi refroidie, est à nouveau injectée par les pompes RCS. Voyons de plus près les principaux composants du circuit.

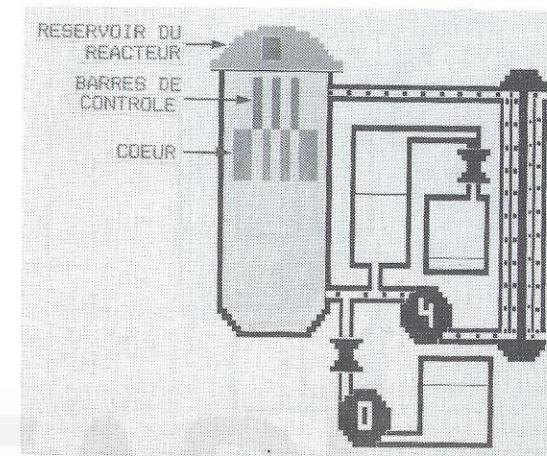


Figure 3 - Le réacteur



## Le réacteur

Il est composé du cœur, des barres de contrôle, et du réservoir d'eau. Le cœur est un ensemble de barres de combustibles bourrées de billes d'uranium. L'espace entre les barres permet le passage de l'eau froide et l'insertion de barres de contrôle. Une incroyable quantité de force, d'énergie peut être générée par le cœur. La production typique est de 3 milliards de watts, soit 4 millions de chevaux vapeur. Une telle concentration d'énergie est étonnante. Toute cette puissance est concentrée dans le cœur du réacteur qui n'est pas plus gros qu'un "camping car". Le cœur peut entretenir la réaction nucléaire et produire la puissance pendant une année sans ajouter de combustible.

## Les barres de contrôle

Elles sont faites à l'aide d'un matériau qui absorbe les neutrons produits par la réaction en chaîne. Quand nous baissions entièrement les barres de contrôle dans le réacteur, tous les neutrons sont absorbés, la réaction en chaîne est stoppée et le cœur ne peut plus donner de puissance. On dira que le réacteur est stoppé. Si nous baissions les barres de contrôle en partie seulement, quelques neutrons maintiennent la réaction en chaîne et le cœur produit ainsi un peu d'énergie, le réacteur n'est pas éteint dans ce cas car il subsiste quelques réactions. Pour arrêter le réacteur, nous devons complètement abaisser les barres dans le réacteur et stopper toutes les réactions. Si nous sortons complètement toutes les barres de contrôle, les neutrons se déplacent librement dans le cœur et entretiennent les réactions en chaîne. Le cœur produit alors sa puissance maximum.

## Le réservoir du réacteur (figure 4)

C'est un lourd container d'acier rempli d'eau. L'eau entre par une conduite au bas du réservoir, emmagasine la chaleur au contact du cœur et sort par une conduite en haut du réservoir. Comme on le voit sur la figure 4, la température de l'eau est de 294 degrés à l'entrée du réservoir, de 346 degrés au contact du cœur et de 317 degrés en haut du réservoir.

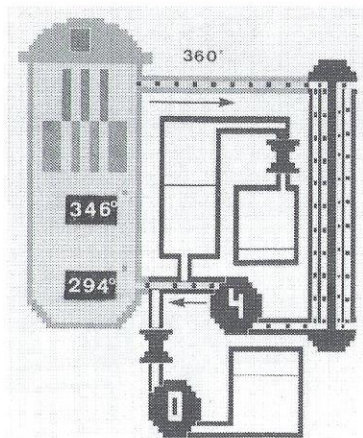


Figure 4 - Le réservoir du réacteur

## Pressuriseur

Le pressuriseur (figure 5) régularise la pression de la vapeur dans le circuit primaire (modère les augmentations soudaines de pression), et la maintient dans des limites normales (150 à 156 Bars). Quand la pression est normale, le pressuriseur contient la moitié d'eau et la moitié de bulles de vapeur. Ces bulles de vapeur servent d'amortisseur aux variations de pression. Dans la simulation, la couleur bleu ciel représente la vapeur. Vous en apprendrez plus sur le pressuriseur en étudiant la thermodynamique dans le chapitre 6.

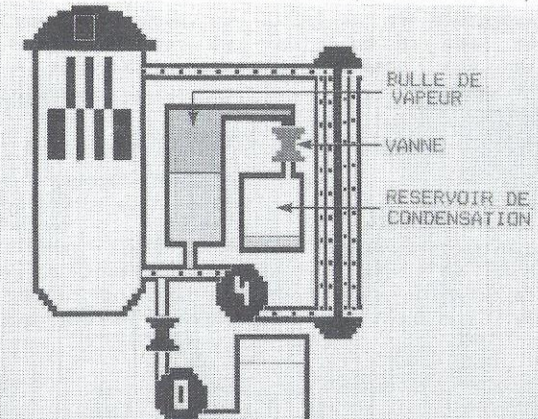


Figure 5 - Le pressuriseur

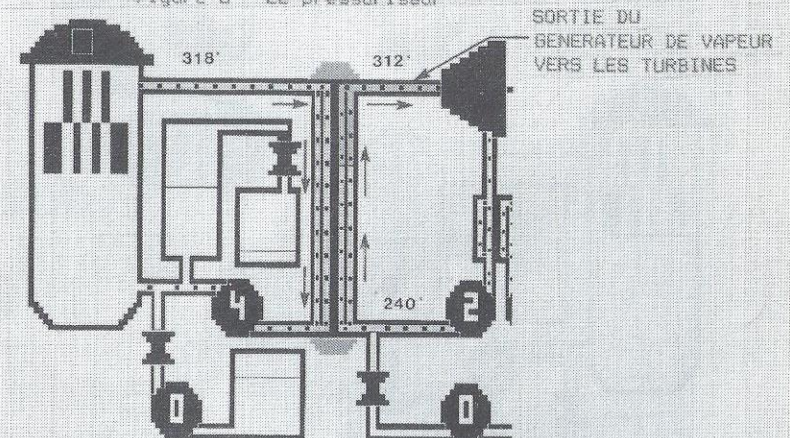


Figure 6 - Générateur de vapeur

## Générateur de vapeur

La chaleur venant du réservoir du réacteur est transportée par l'eau pressurisée vers le générateur de vapeur (figure 6). C'est un appareil assez simple. Il est composé d'un ensemble de petites canalisations à l'intérieur d'une grosse canalisation. L'eau chaude du circuit primaire circule dans les petites canalisations. L'eau froide du circuit secondaire circule dans la grosse canalisation. Les deux systèmes sont complètement isolés, l'eau du premier circuit n'est jamais en contact avec l'eau du second. Mais la chaleur passe à travers les fines parois des petites canalisations, et réchauffe l'eau froide dans la grosse canalisation qui passe en ébullition.



## CIRCUIT SECONDAIRE (Système principal d'alimentation d'eau)

Le circuit secondaire est aussi appelé MFS (Main Feedwater System). Il commence avec deux pompes (octogones verts portant le chiffre 2) qui pompent l'eau vers le générateur de vapeur. Au bas de ce générateur de vapeur, la température est de 240 degrés centigrade.

La vapeur circule vers les turbines qui font tourner les générateurs électriques. Dans la simulation, la canalisation bleue claire représente la vapeur. La température est de 312°C. La vapeur utilisée dans les turbines est ensuite dirigée vers le condenseur et retransformée en eau. L'eau froide est activée par les deux pompes. Maintenant, observons la turbine, le générateur électrique et le condenseur.

### Turbine et générateur

Une turbine est un énorme ventilateur composé de multiples pales. La turbine est mise en mouvement par la poussée de la vapeur venant du générateur et par la dépression que crée le condenseur. La turbine fait donc tourner un générateur électrique représenté par un rectangle vert (Figure 7); le chiffre affiché représente la puissance instantanée sortant du générateur en mégawatts (MW). L'énergie totale produite depuis le départ de la centrale est indiquée dans le coin, en bas, à droite de l'écran. Cette énergie est mesurée en mégawatts heure (MWH).

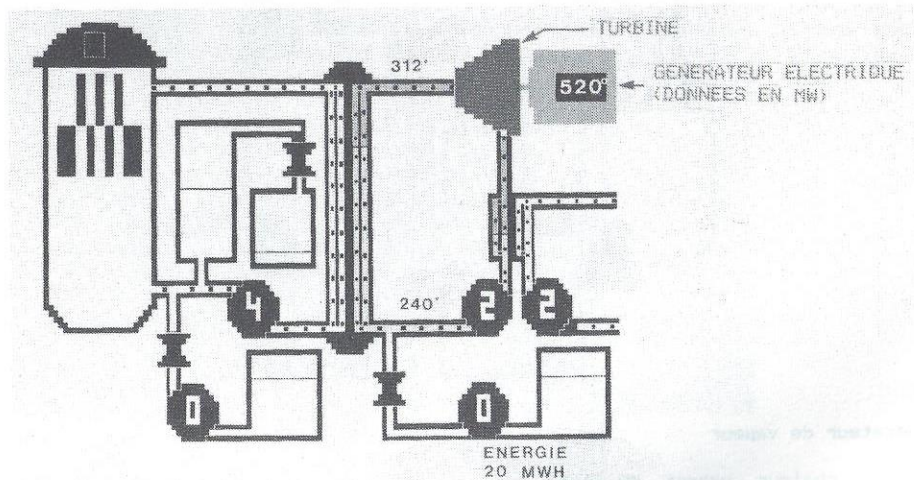


Figure 7 - Turbine et générateur électrique

### Condenseur

Le condenseur est un échangeur de chaleur (Figure 8), comme le générateur de chaleur. Il consiste en un réseau de petites canalisations, dans une canalisation plus grosse. La vapeur chaude venant de la turbine circule dans les petites canalisations et l'eau froide du circuit tertiaire dans la grosse canalisation. Après avoir donné sa chaleur, la vapeur se condense en eau et est réinjectée dans les pompes.

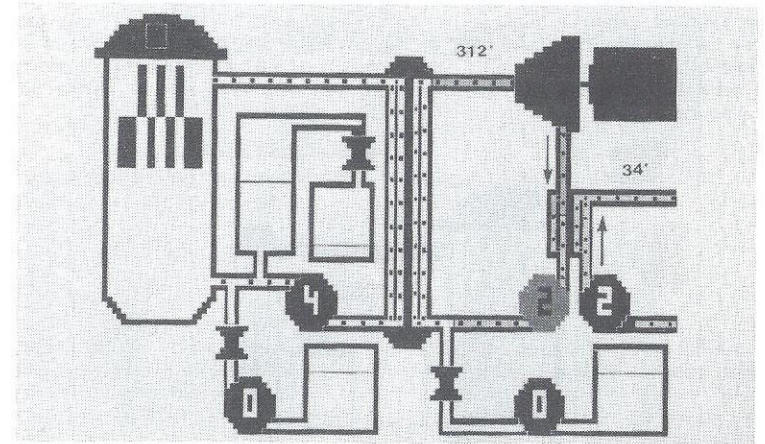


Figure 8 - Le condenseur

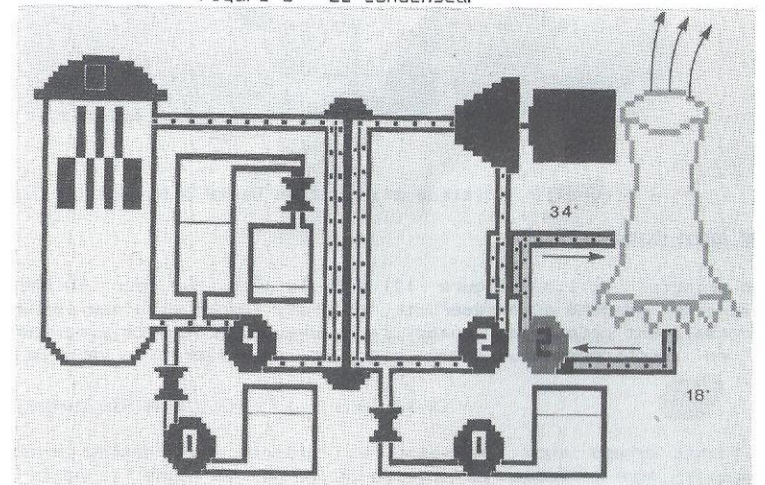


Figure 9 - La tour de refroidissement

### CIRCUIT TERTIAIRE

Le circuit tertiaire commence aux deux pompes représentées par un octogone vert marqué d'un 2. L'eau pompée dans le condenseur absorbe la chaleur de la vapeur et transforme celle-ci dans la tour de refroidissement, qui la transmet à l'air. L'eau refroidie est renvoyée par les deux pompes.

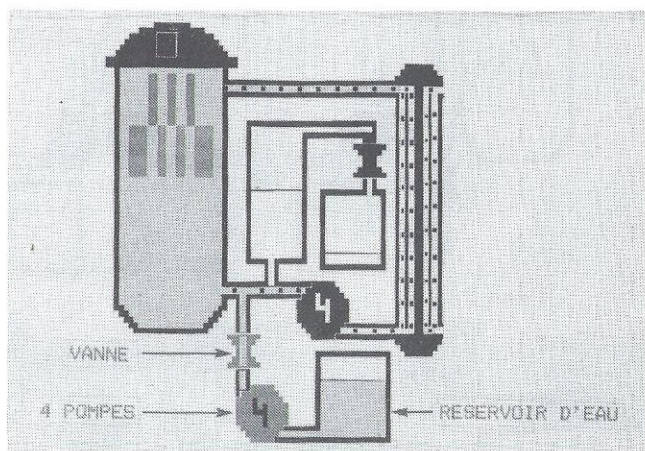


### Tour de refroidissement hyperbolique

Dans la tour de refroidissement, l'eau chaude venant du condenseur tombe d'une hauteur de 6 mètres. Une partie s'évapore, transférant la chaleur dans l'air. L'air chaud sort par le haut de la tour, ce qui fait un appel d'air par le bas activant le refroidissement. L'eau refroidie est récupérée au bas de la tour et réinjectée dans le circuit par les pompes. L'eau entre dans la tour à 34 °C et ressort à 19°C.

### SYSTEME D'INJECTION HAUTE PRESSION (HPI)

Ce système permet de fournir de l'eau au RCS s'il y a des pertes dans ce circuit. Le système consiste en un réservoir d'eau, quatre pompes et une vanne. Normalement, les pompes sont éteintes, on n'utilise pas ce système durant la marche normale. Quand les pompes sont en marche, et la vanne ouverte, l'eau circule du réservoir vers le circuit RCS.



- Figure 10 - Système d'injection haute pression (HPI)

### SYSTEME AUXILIAIRE DE MFS

Le principe utilisé (figure 11) est le même que pour le HPI. Le système auxiliaire est composé d'un réservoir, de trois pompes et d'une vanne. Les pompes sont normalement éteintes; quand la vanne est ouverte avec une ou plusieurs pompes en fonctionnement, l'eau s'écoule du réservoir vers le générateur de vapeur.

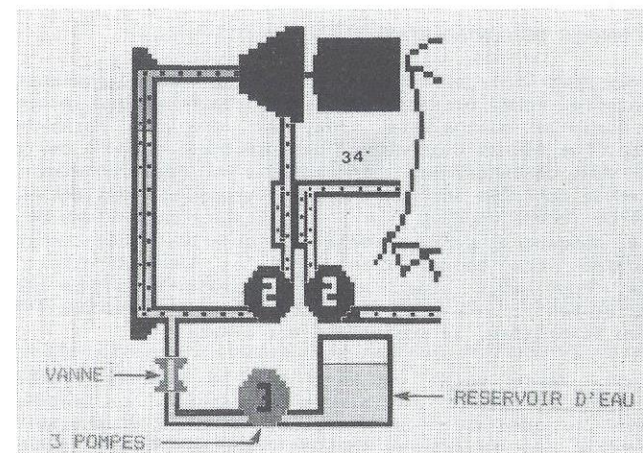


Figure 11 - Système auxiliaire

### FIN DE LA VISITE

Notre visite de la centrale nucléaire de "Silicon Valley" s'achève. Vous pouvez commencer à faire fonctionner la centrale. Si vous ne l'avez pas déjà fait, branchez une commande à levier dans la prise numéro 1 (celle à gauche) située sur le devant de l'ordinateur ATARI. Orientez la manette de façon à avoir le bouton rouge en haut à gauche. La figure 12 vous montre les différents mouvements.

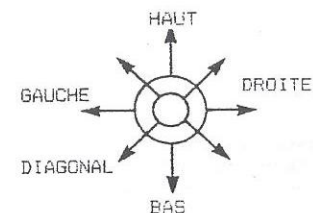


Figure 12 - Mouvement du levier de la commande

### FONCTIONNEMENT DE L'USINE

Après avoir branché la manette de commande, vous pouvez apercevoir le curseur qui clignote dans le dôme au-dessus du réacteur. Avec la commande à levier, vous pouvez le déplacer dans la centrale, vers les barres de contrôle, les pompes et les vannes. Ce sont les seuls composants sur lesquels vous pouvez jouer avec votre commande à levier.

ATARINSIDE



## DESCENTE DES BARRES DE CONTRÔLE

Le curseur doit être placé dans le haut du dôme du réacteur, au-dessus des barres de contrôle. Pour baisser les barres, tenir appuyé le bouton rouge de la commande et tirez le manche vers vous. Tant que vous maintenez le levier dans cette position, les barres descendent dans le cœur jusqu'à ce qu'elles arrivent en bas. Plus vous descendez les barres, plus la réaction diminue. Cela indique que les barres de contrôle absorbent les neutrons et réduisent ainsi la réaction en chaîne. Le cœur dégage moins de chaleur dans l'eau et les températures commencent à descendre partout dans la centrale. Les turbines tournent plus lentement (comme vous pouvez l'entendre) et les générateurs produisent moins d'électricité. Pour vous aider à voir les diminutions de température dans la centrale, toutes les valeurs sont alors soulignées. Quand les échanges d'énergie sont à nouveau stabilisés, le sous-ligné est effacé.

Maintenant, votre doigt toujours sur le bouton, poussez le levier de la commande en avant et relevez les barres de contrôle. La température commence à remonter dans la centrale, les turbines tournent plus vite, et l'électricité produite augmente, les différentes valeurs sont surlignées tant que le transfert d'énergie n'est pas stabilisé.

## OUVERTURE DES VANNES ET MISE EN MARCHÉ DES POMPES

Toutes les pompes et les vannes sont colorées en vert. Pour vous décoller vers l'une d'elles, utilisez le levier de la commande sans appuyer sur le bouton rouge. Pour ouvrir une vanne ou mettre en marche une pompe, tenez appuyé le bouton rouge et poussez le levier vers l'avant. Pour fermer une vanne ou arrêter une pompe, tirez le manche vers vous.

## FONTE DU REACTEUR

Vous profitez de cette occasion pour faire fondre le cœur du réacteur. C'est assez facile. La seule chose que vous avez à faire est de déplacer le curseur sur les pompes RCS et de les arrêter toutes les quatre. Il faut que les barres de contrôle soient bien sorties.

Avec toutes les pompes RCS arrêtées, l'eau froide ne circule plus autour du cœur et la température augmente très rapidement. L'eau, au contact des barres d'uranium, se met à bouillir et se transforme en vapeur, ce qui isole le cœur et diminue encore son refroidissement. Vous pouvez vous apercevoir de cela car le message "L'EAU BOUT" clignote en bas de l'écran et l'alarme resonance dans la centrale. Quand la température du cœur dépasse  $x$  degrés, celui-ci commence à fondre. Ses 100 tonnes de combustibles hautement radioactif se liquéfient et coulent au bas du réacteur. L'écran clignote.

## VOTRE NOUVELLE CENTRALE NUCLEAIRE

Maintenant que vous avez tout fait sauter, cherchez à comprendre l'erreur que vous avez faite. Appuyez sur la touche START sur le clavier de votre ordinateur ATARI, pour reconstruire votre centrale. Quand vous entendez la rotation des turbines, vous êtes à nouveau au travail.

Jouez avec votre nouvelle centrale pour vous familiariser avec elle. Déplacez le curseur, ouvrez et fermez les vannes, arrêtez ou relancez les pompes, et notez ce qui arrive. Mais cette fois, soyez prudent en arrêtant les pompes. Si la température du circuit primaire augmente de trop, baissez les barres de contrôle dans le cœur. La seule chose à ne pas toucher pour l'instant est le FACTEUR DE RISQUES. C'est une autre partie du jeu de la CENTRALE NUCLEAIRE et nous le verrons au chapitre B.

## 5 THERMODYNAMIQUE

Dans ce chapitre, vous apprendrez:

- . Les principes de base du transfert de chaleur dans une centrale nucléaire.
- . Ce qu'il se passe quand les températures ne sont pas en équilibre.
- . Quelques principes de base sur la pression dans une centrale.
- . Ce qu'il se passe quand les pressions sont trop hautes ou trop basses.
- . Comment le pressuriseur maintient l'équilibre.

### PRINCIPES DE BASE DU TRANSFERT DE CHALEUR

Pour comprendre comment fonctionne une centrale nucléaire, vous devez avoir à l'esprit quelques principes:

- . la chaleur est de l'énergie
- . la chaleur passe à travers la matière
- . la chaleur s'écoule d'un corps chaud vers un corps froid et non l'inverse.

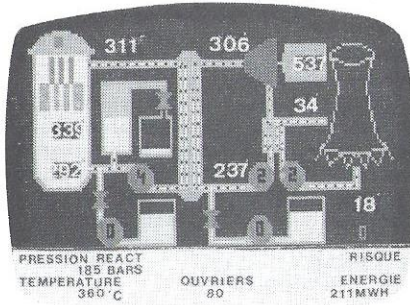
Dans un réacteur à eau pressurisée (EPR), la chaleur s'écoule donc de l'endroit le plus chaud, le réacteur vers l'endroit le plus froid, l'air dans la tour de refroidissement. La quantité de chaleur qui est ainsi dépend de:

- . la quantité de chaleur produite
- . le gradient de température, ou la différence de température entre la source chaude et la source froide
- . la conductivité thermique, ou avec quelle facilité la chaleur peut traverser un corps.

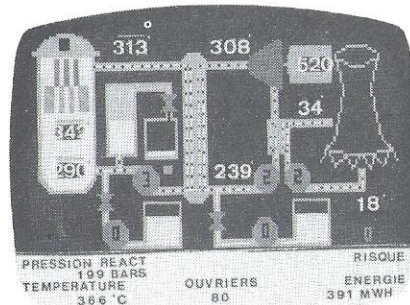
### GRADIENT DE TEMPERATURE

Un gradient de température existe entre deux points s'il y a une différence de température. Si les températures sont peu différentes, le gradient est faible. Si les températures sont très différentes, le gradient est élevé.

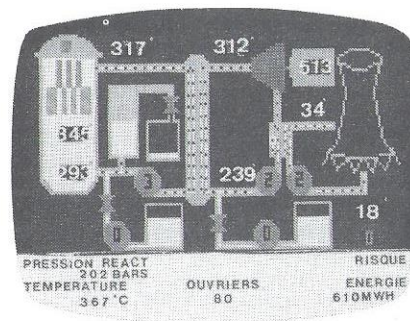
Si nous voulons que la chaleur aille d'un point A à un point B, le point A doit être plus chaud que le point B. La chaleur en A est en relation avec celle en B: en d'autres termes, plus le gradient de température entre A et B est grand, plus la chaleur s'écoulera de A vers B.



(a) Haute conductivité thermique



(b) Basse conductivité thermique. La température augmente



(c) Fort gradient de température coeur/RCS, les températures se stabilisent

Figure 13 - Conductivité thermique et gradient de température

## CONDUCTIVITE THERMIQUE

La conductivité thermique est une mesure de la facilité de circulation de la chaleur entre deux points. Si la chaleur circule facilement, la conductivité thermique est grande. Si elle circule difficilement, elle est faible.

Dans une centrale nucléaire, la conductivité thermique est grande quand beaucoup d'eau s'écoule autour de la source de chaleur:

Plus il y a d'eau en contact direct avec la source de de chaleur,  
Plus l'on pourra collecter de chaleur dans l'eau.

Par exemple, la conductivité thermique est maximum quand les pompes du circuit RCS sont en fonctionnement et que la circulation d'eau autour du coeur est maximum.

## CONDUCTIVITE THERMIQUE ET GRADIENT DE TEMPERATURE

Il y a une relation entre la conductivité thermique et le gradient de température. Si la conductivité thermique entre les points A et B est grande ou si la chaleur circule facilement de A vers B, il n'est pas utile de maintenir un haut gradient de température entre A et B pour avoir un bon échange de chaleur. Mais si l'on diminue la conductivité thermique entre A et B, on doit augmenter le gradient de température pour maintenir un bon transfert de chaleur. Voir la figure 13.

### Réacteur/Circuit primaire

Avec les quatre pompes en fonctionnement, la conductivité thermique dans le circuit primaire est grande (Figure 13 a). Il n'est pas nécessaire d'avoir un important gradient de température pour faire passer la chaleur du coeur dans l'eau. Mais si vous arrêtez l'une des quatre pompes, la conductivité thermique diminue et moins de chaleur est transportée par l'eau. Le coeur est moins refroidit et s'échauffe (figure 13 b). Quand le coeur s'est suffisamment échauffé pour créer un gradient de température plus important avec le circuit d'eau, il libère plus de chaleur dans cette eau et la température de l'eau se stabilise à un niveau plus élevé (figure 13 c).

### RCS/Circuit secondaire

Maintenant, supposons que vous arrêtez une pompe du circuit secondaire. La conductivité thermique de ce circuit diminue et moins de chaleur est prise du circuit primaire. Le circuit primaire s'échauffe jusqu'à ce que le gradient de température entre les circuits primaire et secondaire soit suffisamment élevé pour forcer une plus grande quantité de chaleur à passer dans le circuit secondaire.

### Circuit secondaire/circuit tertiaire

En arrêtant une des pompes du circuit tertiaire, moins d'eau circule dans le condenseur. La vapeur circulant dans le condenseur laisse passer moins de chaleur dans le circuit tertiaire. La température augmente dans le circuit secondaire jusqu'à ce que le gradient de température entre les circuits secondaire et tertiaire soit assez grand pour forcer plus de chaleur à passer dans le circuit tertiaire.

## RETROACTION THERMIQUE

Tout ce qui modifie le gradient de température en un point du système affecte aussi le transfert de chaleur dans le réacteur. Vous pouvez imaginer que les systèmes de transfert de chaleur sont comme une chaîne de montage. Si l'un des maillons fonctionne plus lentement, l'ensemble de la chaîne est ralenti. La figure 14 donne un exemple de la rétroaction dans notre centrale nucléaire.



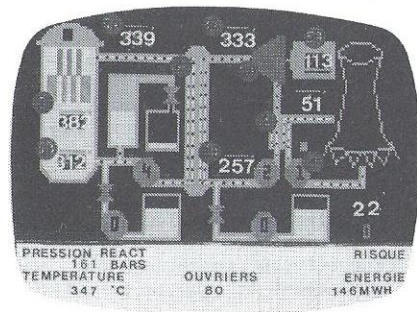


Figure 14 - Rétroaction thermique dans une centrale nucléaire

-Arrêtez une pompe 1. Ceci diminue la circulation d'eau dans le condenseur et baisse la conductivité thermique dans le circuit tertiaire.

-Dans le condenseur 2, moins de chaleur s'évacue, et celle-ci reste dans le circuit secondaire.

-La température du circuit secondaire augmente, ce qui diminue le gradient de température entre les circuits primaire et secondaire 3A et 3B.

-Le circuit primaire échange moins de chaleur à travers le générateur de vapeur 4.

-Le circuit secondaire produit moins de vapeur vers les turbines 5A. Les turbines ralentissent et moins d'électricité est produite en 5B.

-Comme moins de chaleur est échangée à travers le générateur de vapeur, celle-ci reste dans le circuit primaire 6A 6B et le gradient de température entre l'eau et le réacteur diminue.

-Le coeur dégage moins de chaleur dans l'eau et il s'échauffe.

## LE PRINCIPE DE PRESSION

### PRESSION ET POINT D'EBULLITION

Savez-vous pourquoi l'eau bout dans le générateur de vapeur mais pas dans le circuit primaire? Tout le monde sait que l'eau bout à 100°C et pourtant, la température dans le réacteur est beaucoup plus élevée. Pourquoi l'eau ne bout-elle pas?

La réponse est qu'il s'agit d'eau pressurisée. La température d'ébullition de l'eau dépend de sa pression.

Plus la pression est élevée, plus la température d'ébullition est élevée.

L'eau dans le circuit secondaire est à une pression de 70 bars. A cette pression, le point d'ébullition est à 287°C. Ainsi l'eau dans le générateur de vapeur est portée à une température plus élevée et se transforme en vapeur.

Nous voulons que l'eau soit transformée en vapeur car la vapeur fait tourner les turbines bien mieux que l'eau. Mais nous ne voulons pas que l'eau bouille dans le réacteur. Nous maintenons donc l'eau à une pression de 150 à 180 bars. Aussi, la température d'ébullition est de 350 °C. La pression dans le circuit primaire et la température d'ébullition apparaissent dans la fenêtre de texte en bas de l'écran (Figure 2). La température de l'eau doit être maximum pour un bon transfert de chaleur vers les turbines mais pas trop élevée pour éviter la formation de vapeur dans le coeur. Ce qui est très dangereux.

## L'EAU BOUT

Vous avez vu apparaître ce message lorsque vous avez arrêté les quatre pompes du circuit primaire pour faire fondre le réacteur. Que s'était-il passé? En arrêtant les quatre pompes, vous avez arrêté la circulation d'eau dans le réacteur. Le coeur s'est alors considérablement réchauffé et ceci transforme l'eau en vapeur.

Vous savez que lorsque l'eau commence à bouillir dans une casserole, des bulles de vapeur se forment d'abord au fond de l'eau, qui est l'endroit le plus chaud. La même chose se passe dans le réacteur. Les bulles d'eau se forment dans la couche d'eau entourant le coeur. La vapeur est un très mauvais conducteur de la chaleur, et elle se comporte comme un coussin isolant empêchant la chaleur de se dégager du coeur. Dans peu de temps, le coeur va fondre.

L'eau bout quand vous arrêtez une des pompes dans un circuit. Cela diminue la circulation d'eau dans la boucle considérée, ce qui réduit la conductivité thermique et renvoie en sorte la chaleur vers le coeur. Le réacteur s'échauffe très vite lorsque vous arrêtez une pompe du circuit secondaire et peu s'il s'agit du circuit primaire.

### COMMENT CONTROLER L'EBULLITION DE L'EAU

Si l'eau se met à bouillir, vous devez agir très rapidement. Non seulement vous devez empêcher le réacteur de fondre, mais vous devez maintenir la production d'électricité. Les générateurs ne peuvent pas fabriquer de l'électricité s'il n'y a pas assez de chaleur transférée aux turbines. Il y a deux manières de contrôler l'ébullition:

-augmenter la pression dans le circuit primaire, ce qui élève la température d'ébullition.

-ralentir la réaction nucléaire en baissant les barres de contrôle.

Plus tôt vous agirez, plus il vous sera facile de stopper l'ébullition. Ouvrez la vanne et lancez les pompes du système haute pression. Baissez les barres de contrôle dans le coeur. Si nécessaire, arrêtez le réacteur. Eventuellement, les turbines s'arrêtent et l'énergie produite tombe à zéro. Mais votre problème n'est pas résolu tant que vous n'avez pas assez refroidit le réacteur pour stopper l'ébullition.

### QUAND LA PRESSION EST TROP FORTE

Les hautes pressions utilisées pour bien transférer la chaleur ne doivent pas varier et ne doivent pas devenir trop fortes. Si elles excèdent 200 bars, elles se comportent comme un gigantesque marteau. Les canalisations, les vannes reçoivent d'énormes coups et cela cause des accidents dans le circuit primaire.

### PERTES DANS LE CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT

Si de telles pertes surviennent dans le système primaire, vous devez le savoir. Le message "L'EAU BOUT" apparaît en bas de l'écran et vous devez agir rapidement. Faites fonctionner les quatre pompes RCS, et pompez de l'eau dans le réservoir de pression. Arrêtez le réacteur s'il s'échauffe de trop. La meilleure solution pour prévenir ces pertes est de maintenir la pression en dessous de 200 bars.

## LE PRESSURISEUR

Il maintient la bonne pression dans le circuit primaire grâce à un coussin de vapeur qui amortit les variations de pressions. Quand la pression est normale, le pressuriseur est à moitié rempli d'eau. Si la pression est trop forte, l'eau monte, si elle est trop faible, elle descend.

Si la pression dans le circuit primaire dépasse 163 bars, vous devez ouvrir la vanne au-dessus du réservoir et laisser s'échapper de la vapeur. La pression baissera pour se stabiliser entre 150 bars à 180 bars. N'oubliez pas de fermer cette vanne sinon la pression deviendra trop faible.

## QUAND LA PRESSION EST TROP FAIBLE

Une pression trop basse diminue la conductivité thermique et la température risque d'augmenter. En même temps, le point d'ébullition s'abaisse. La combinaison de ces deux choses implique très rapidement...c'est bien cela...l'ébullition de l'eau.

## 7 INDICATEURS DE CONTROLE DE LA CENTRALE NUCLEAIRE

Température, pression, énergie produite, niveau d'eau dans les réservoirs vous indiquent si le fonctionnement de la centrale est normal. Votre habileté à lire et à interpréter ces indicateurs vous permettront de passer votre examen de qualification. Ces indicateurs sont montrés à la figure 15.

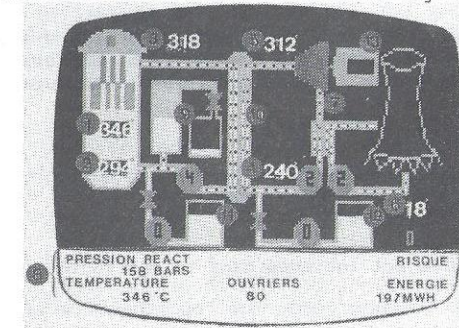


Figure 15 - Indicateurs de la centrale

- 1-Température du réacteur.
- 2-Température de l'eau froide dans le circuit primaire.
- 3-Température de l'eau chaude dans le circuit primaire.
- 4-Température de l'eau froide dans le circuit secondaire.
- 5-Température de l'eau chaude dans le circuit secondaire.
- 6-Température de l'eau froide dans le circuit tertiaire.
- 7-Température de l'eau chaude dans le circuit tertiaire.
- 8-Pression et température dans le circuit primaire.
- 9-Niveau eau/vapeur du pressuriseur.
- 10-Niveau eau/vapeur du générateur de vapeur.
- 11-Niveau d'eau du réservoir du système HPI.
- 12-Niveau d'eau du réservoir du circuit secondaire.
- 13-Puissance de sortie du générateur.

## TEMPERATURE

### TEMPERATURE DU REACTEUR

La température du réacteur (le coeur et l'eau qui est à son contact) décroît quand les barres de contrôle sont baissées et augmente quand elles sont levées. Si l'une des pompes de contrôle tombe en panne, le transfert de chaleur se fait moins bien et la température du coeur augmente. La panne d'une pompe du circuit primaire provoque une augmentation moins grande de la température qu'une panne d'une pompe des circuits secondaire ou tertiaire.

### BOUCLE DE TEMPERATURE

Chacun des circuits d'eau a deux températures affichées: la haute température en sortie et la basse température en entrée (Figure 15).

Dans tous les circuits, les deux températures baissent si les barres sont descendues et augmentent si elles sont relevées. La panne de l'une des pompes implique d'abord une augmentation des hautes températures dans les circuits, et une baisse des basses température. Puis les deux températures augmentent ainsi que le gradient de température. Les températures augmentent d'abord dans le circuit défaillant puis dans les autres très rapidement.



## PRESSION ET POINT D'EBULLITION

Normalement, la pression dans le circuit primaire croit et décroît avec la température du réacteur. Une baisse de pression dans le circuit primaire provient de la vanne PRU ouverte ou d'une fuite.

## NIVEAU D'EAU

### Générateur de vapeur

Le niveau d'eau dans le générateur de vapeur vous indique s'il y a assez d'eau dans le circuit secondaire. Si vous arrêtez une des pompes, le niveau descend. Si vous pompez de l'eau par le système auxiliaire dans le réservoir, le niveau augmente.

### Système d'injection haute pression

Le niveau baisse lorsque la vanne est ouverte et les pompes en fonctionnement.

## SORTIE DU GENERATEUR

la quantité d'électricité produite est indiquée dans le rectangle vert représentant le générateur (figure 15).

## PRATIQUE

Maintenant, lancez la simulation. Profitez-en pour voir si vous pouvez prédire les effets de l'arrêt d'une pompe, de la baisse des barres de contrôle et de l'ouverture ou de la fermeture des vannes.

## 8 LE JEU DE LA CENTRALE NUCLEAIRE

Ce jeu teste votre habileté à maintenir la bonne marche de la centrale nucléaire quoi qu'il advienne, quelle que soit la panne.

Le but du jeu est de générer le maximum d'électricité et d'éteindre le réacteur avant que son cœur ne fonde. Cela paraît facile? Attendez et examinez les risques que vous aurez à prendre. Nous avons prévu des tremblements de terre qui briseront les parties de la centrale les unes après les autres. Vous aurez à trouver et à réparer les parties endommagées tout en générant toujours de l'énergie et en envoyant des ouvriers pour les réparations.

## LE SCORE

Votre score est le nombre de mégawatts (MWH) d'énergie que vous avez produits avant de faire fondre le réacteur. Ce chiffre est donné sur le compteur en bas à droite. A la fin de ce manuel, vous trouverez un tableau de progression sur lequel vous pourrez suivre votre habileté.

## QUALIFICATION

Votre habileté à devenir un opérateur qualifié sera fonction de votre score en énergie pure et des risques que vous avez encouru en y parvenant. Le risque c'est le tremblement de terre et ses dommages. Plus il y a de risques, plus il y aura de tremblements de terre, plus il y aura de dommages. Il y a neuf niveaux de risques. Si vous parvenez à produire 300 MWH d'énergie au niveau 9, vous êtes qualifié comme opérateur de réacteur. Si vous avez produit plus de 500 MWH d'énergie au risque 9, vous devenez Opérateur de réacteur Senior, qui est le grade le plus élevé. Il y a seulement deux personnes qui ont obtenu ce grade à "Silicon Valley". Vous serez peut-être le troisième.

## SI VOUS FAITES FONDRE LE REACTEUR

Si vous faites fondre le réacteur, vous ratez votre examen. Ne comptez pas les mégawatts d'énergie pure. Votre score est 0. Cependant, nous vous donnons une dernière chance. Recommencez le jeu au même niveau de risque.

## COMMENT JOUER

Il y a cinq phases dans ce jeu:

1. Construire une centrale nucléaire.
2. Avancer dans les niveaux de risque.
3. Trouver les dommages provoqués par les tremblements de terre.
4. Envoyer des ouvriers sur place.
5. Eteindre le réacteur.

## CONSTRUIRE UNE CENTRALE NUCLEAIRE

Il va vous falloir une nouvelle "Silicon Valley" pour jouer au jeu de la CENTRALE NUCLEAIRE. C'est la dernière fois que vous pourrez faire sauter le cœur du réacteur sans pénalité. Alors, attention!

NOTE: La façon la plus rapide de faire exploser le cœur est de stopper simultanément les pompes du circuit secondaire ou les pompes de circulation d'eau.

Après l'explosion, appuyez sur START pour reconstruire une centrale. Nous vous attendons. Prêt? Maintenant, regardez l'indicateur du niveau de risque. C'est le zéro dans le coin droit en bas de l'écran.



## AUGMENTATION DU NIVEAU DE RISQUE

Pour l'instant, le compteur RISQUE est à zéro car vous n'en avez pris aucun. Pour commencer le jeu, vous devez choisir un niveau de risque entre 1 et 9. Au plus haut niveau (9), il y aura plus de tremblements de terre, donc plus de dégâts à réparer. Nous vous indiquerons plus tard la façon d'augmenter le niveau de risque, mais voyons tout d'abord les dommages causés par les tremblements de terre.

## DETECTION DES PANNES DUES AUX TREMBLEMENTS DE TERRE

Comment saurez-vous quand arrive un tremblement de terre? N'ayez crainte, vous le saurez.

Juste après la secousse, vous entendrez le son produit par quelque chose qui se brise. Cela sera soit une pompe, soit une vanne; mais laquelle? Elles paraîtront toutes normales et travailleront normalement. Les pompes vont tourner et les vannes s'ouvrir. Cependant, une pompe ou une vanne est bien cassée. Chaque tremblement de terre brise quelque chose. Vous aurez à trouver rapidement la place du dommage avant qu'il n'en survienne un autre qui cassera autre chose.

Comment pouvez-vous trouver la vanne ou la pompe cassée si elles apparaissent comme normales? Il vous faudra faire appel aux indicateurs. Si vous avez eu de bonnes notes en Thermodynamique et si vous savez lire les indicateurs, vous serez capable de trouver le composant défectueux. Observez les changements de température, de pression, de puissance et regardez les niveaux d'eau dans le générateur de vapeur, le pressuriseur et le réservoir.

Par exemple, supposez que vous essayez d'ouvrir le PRV pour réduire la pression du RCS. Cela signifie que le PRV s'ouvre et que la vapeur s'engouffre dans le réservoir de condensation, mais vous pouvez vous être trompé. Vérifiez le niveau d'eau dans le pressuriseur et dans le réservoir de condensation. Si l'eau ne monte pas, le PRV est endommagé et ne peut être ouvert.

Voici quant aux pannes, quelques informations précieuses: une pompe ne peut se montrer cassée que lorsqu'on essaie de l'ouvrir. Une vanne qui est ouverte ou fermée peut se trouver endommagée.

## ENVOI DES OUVRIERS

Quand vous pensez avoir découvert quelle vanne ou quelle pompe est cassée, déplacez le curseur vers cet élément. Appuyez sur le bouton rouge de la manette et déplacez le levier à droite ou à gauche. Maintenant, regardez en bas de l'écran. Vous verrez clignoter BON! ou MAUVAIS!.

De toute façon, cinq de vos 80 ouvriers iront sur les lieux pour évaluer l'état du matériel. Vous ne les verrez pas travailler mais croyez nous sur parole. S'il y a eu une panne, elle sera immédiatement réparée. Vous ne le verrez pas ni l'entendrez, mais la réparation sera effectuée. Bien sur, une fois qu'une réparation est effectuée, un autre tremblement de terre peut surgir et le briser à nouveau. Les tremblements de terre sont imprévisibles.

Si vous choisissez un élément qui n'était pas endommagé, les ouvriers partiront quand même sur les lieux. Ils ne verront rien sur aucune panne. Vous aurez perdu cinq ouvriers.

Aucun ouvrier que vous aurez demandé ne reviendra travailler. La convention des centrales nucléaires a des règles très strictes quant à la quantité de radioactivité que chaque ouvrier peut recevoir.

## POUR ARRETER LE REACTEUR

Bien que votre mission soit de produire le maximum d'électricité, il serait très ambitieux de croire que vous pourriez le faire indéfiniment. Eventuellement, vous arrêterez car vous n'aurez plus d'ouvriers pour réparer les dommages. Ce sera alors terminé, à moins que vous ne commenciez par faire fondre le réacteur. Un test se trouve dans l'examen final montrant votre capacité à arrêter la centrale avant que le coeur ne fonde.

Lorsque vous pensez que ce moment est venu, descendez les barres de contrôle dans le coeur et commencez à le refroidir. Si la température du réacteur est de 90°C, vous verrez apparaître le message "REFROIDISSEMENT" et le jeu sera terminé.

## A VOUS DE JOUER

Déplacez le curseur au niveau de l'indicateur RISQUE à l'aide de la commande à levier. Elevez le niveau du risque à 1. Vous changez le niveau du risque de la même manière que pour ouvrir ou fermer une vanne. Appuyez sur le bouton rouge et poussez le levier vers le haut.

Si votre score avec le risque 1 est au moins de 1000 MWH, positionnez le risque à 2. Continuez jusqu'à atteindre le risque 9. Le tableau des scores en dernière page vous donne une bonne idée des scores à réaliser pour passer à un niveau de risque supérieur.

NOTE: Chaque fois que vous augmentez le risque, le compteur "ENERGIE PRODUITE" revient à zéro.

## 9 COMMENT GAGNER AU JEU DE LA CENTRALE NUCLEAIRE

Voulez-vous améliorer votre score? Voici quelques astuces:

### LAISSER EN FONCTIONNEMENT LA POMPE PRINCIPALE

La stratégie optimale est de faire générer au coeur du réacteur le maximum d'énergie aussi longtemps que possible. Pour cela, vous devez maintenir en fonctionnement toutes les pompes vitales. La perte d'une pompe vous forcerait à réduire la quantité d'énergie produite et à restreindre votre niveau de sécurité. Ceci est surtout vrai si vous perdez le circuit principal ou une pompe, puisqu'il n'y a que 2 pompes et 2 circuits. Si vous perdez une pompe RCS, vous devrez réduire un peu la puissance du réacteur, ceci ne perturbera pas beaucoup l'ensemble.

### LIRE ET INTERPRETER LES INDICATEURS

Pour déterminer si un RCS, un circuit principal ou une pompe est en panne, lire les indicateurs de température dans chaque circuit. Si le circuit présente une augmentation de température d'une part et un mauvais refroidissement d'eau d'autre part, c'est qu'il est en panne.

Une pompe en panne peut être également reconnue par le niveau d'eau dans ses environs. Par exemple, si le niveau d'eau par rapport à celui de la vapeur baisse en dessous de la normale dans le générateur de vapeur, ceci indique que le générateur de vapeur ne reçoit plus suffisamment d'eau, donc que le circuit d'eau est en panne.

La forme d'une pompe vitale réduira généralement la conductivité thermique et la production d'électricité. Néanmoins, ne vous étonnez pas si la puissance produite ne baisse pas immédiatement après qu'une pompe vitale soit tombée en panne. Rappelez vous que tous les indicateurs reflètent des processus physiques qui ont chacun leur propre inertie naturelle. Le générateur continuera pendant un certain temps à produire de l'énergie bien que la pompe soit en panne. Mais à la longue, l'énergie produite baissera.

La manière la plus rapide de diagnostiquer la panne d'un HPI ou d'un circuit auxiliaire est de vérifier le niveau d'eau dans les réservoirs. Si le système est supposé être en fonctionnement mais que le niveau d'eau ne baisse pas du tout, soit la vanne est cassée, soit toutes les pompes sont en panne. Une vanne cassée est moins grave, mais si vous avez eu plusieurs tremblements de terre, alors il est possible que toutes les pompes soient cassées.

Vous pouvez également vérifier le fonctionnement d'un HPI en regardant le pressuriseur et l'indicateur de pression du RCS dans la fenêtre en bas à gauche de l'écran. Si le HPI est en fonctionnement, la pression du RCS doit augmenter et le niveau d'eau dans le pressuriseur aussi. Vous pouvez déterminer l'état de fonctionnement du circuit auxiliaire en regardant le niveau d'eau dans le générateur de vapeur monte lorsque l'eau est pompée.

**RAPPEL:** Une pompe qui n'est pas en fonctionnement ne peut pas être cassée.

### ESSAI DES VANNES

Si une vanne se casse pendant qu'elle est fermée, il ne sera pas possible de s'en apercevoir en lisant les indicateurs. Vous ne le saurez que lorsque vous essaierez de l'ouvrir. Si vous soupçonnez une vanne d'être cassée alors qu'elle est fermée, regardez si elle fonctionne comme elle devrait. Est-ce que le niveau d'eau dans les réservoirs augmentent ou diminuent comme prévu? Si non, la vanne est cassée.

### TENIR UN RELEVÉ DES PANNES

Souvenez-vous que chaque tremblement de terre casse une vanne ou une pompe, et que vous devez la réparer. Il serait intéressant de connaître le nombre de fois que chaque appareil est tombé en panne, les pannes que vous avez réparées, et celles qui ne l'ont pas été. Rappelez-vous aussi qu'un appareil réparé peut encore tomber en panne.



## EXACTITUDE DE LA SIMULATION

CENTRALE NUCLEAIRE est un programme sophistiqué de simulation du fonctionnement d'une centrale nucléaire. Comme toute simulation, c'est un modèle simplifié d'une centrale réelle. Une vraie centrale nucléaire est beaucoup plus complexe. Par exemple, les centrales ont couramment 800 km de canalisations, 2 générateurs de vapeur, 4 turbines, 4 générateurs et plusieurs tours hyperboliques de refroidissement.

Dans notre effort de simplification du modèle, nous avons laissé de côté les dispositifs de sécurité d'une vraie centrale. Par exemple, une vraie centrale nucléaire possède un système important d'urgence de refroidissement du coeur. Ce système comporte au moins 3 sous-systèmes indépendants qui apportent l'eau nécessaire au refroidissement du coeur en cas d'urgence. Nous n'avons inclus dans ce programme que l'un des 3 sous-systèmes, à savoir la HPI (système d'injection à haute pression).

Nous avons également laissé de côté la compartiment blindé, une structure énorme dans laquelle se trouve le réacteur. Ce compartiment a pour rôle de contenir la radioactivité en cas d'irradiation. Le compartiment est suffisamment blindé pour retenir la majorité des cas qui pourraient se présenter. Même si la fonte du réacteur détruisait complètement la centrale, ce dispositif de blindage devrait empêcher toute propagation de la radioactivité dans les environs du site. Dans le but de vous donner le contrôle complet de notre centrale nucléaire, nous avons également laissé de côté tous les dispositifs automatiques de sécurité. Dans la réalité, une centrale nucléaire contient suffisamment de dispositifs qui, dès le moindre incident ou signe de panne, actionne l'alarme. Ces systèmes sont en général très efficaces.

Quelques points encore non conformes à la réalité: Au niveau du risque 9, on peut couper chaque pompe et vanne en moins de cinq minutes. La commission de sécurité exige que toutes les pompes et vannes critiques soient capables de résister au pire tremblement de terre qui pourrait subvenir sur le site. Finalement, la vitesse à laquelle les événements surviennent dans notre centrale n'est pas réaliste. Par exemple, on peut passer d'une situation normale à une fonte du coeur du réacteur en moins de deux minutes. Ce qui est beaucoup trop rapide puisque le temps estimé tend vers six heures. Sachant que vous ne voudriez jamais attendre six heures (devant votre téléviseur) pour que quelque chose se passe, nous avons pris la liberté d'accélérer (ou de réduire le temps de) la fonte du coeur.

## L'ACCIDENT DE THREE MILE ISLAND

Ce compte rendu de l'accident de Three Mile Island a été repris à partir des publications suivantes.

1-Recherche du 28 mars 1979 à Three Mile Island.

Pour l'office d'inspection et d'application, rapport n°50-320/79-10 commission américaine de régulation nucléaire. Washington D.C. (Aout 1979).

2-Rapport du président de la commission d'enquête sur l'accident de Three Mile Island. John Kemeny, Président Washington D.C. (octobre 1979)

Dans le rapport ci-après sur l'accident, le terme Président de la commission est parfois remplacé par "Commission Kemeny" ou "Commission" et le rapport de la commission par "rapport Kemeny".

L'accident est survenu le mercredi 28 Mars 1979 à 4 heures. A l'origine, une vanne fermée qui coupa l'apport d'eau au circuit principal de refroidissement, forçant les pompes à l'arrêt. Lorsque le refroidissement s'arrêta, l'eau du générateur se mit à bouillir. Le réacteur s'emballa automatiquement ce qui entraîna la mise en route des pompes auxiliaires du circuit de secours de refroidissement. Mais ce système de secours ne put fonctionner car quelqu'un avait fermé les vannes des pompes...ce qui constitue une faute professionnelle très grave.

Sans une seule goutte d'eau dans la boucle secondaire, la température dans le circuit primaire monta rapidement et la pression dans le réacteur augmenta. La vanne de secours relative à la pression s'ouvrit. La vapeur s'échappa du pressuriseur. Quand la pression se fut stabilisée, la vanne tenta de se refermer automatiquement mais elle resta bloquée. Pour compliquer encore le problème, l'indicateur correspondant à la position de cette vanne dans la salle de contrôle indiquait que la vanne était fermée.

L'eau du réacteur se déversa à travers cette vanne dans le réservoir de condensation et la pression dans le réacteur baissa automatiquement. Cette baisse de pression entraîna la mise en route des pompes HPI qui commencèrent à injecter l'eau dans le réacteur. Comme la pression augmentait dans le réacteur, le niveau d'eau dans le pressuriseur commença à croître. Lorsque les opérateurs virent cela, ils pensèrent que les pompes HPI avaient pompé trop d'eau et ils les arrêtèrent afin que le pressuriseur ne soit pas rempli d'eau. Ce fut la pire chose qu'ils pouvaient faire.

Sans eau de refroidissement, la température du réacteur monta en flèche. La température atteignant 1260 °C, le zirconium dans le combustible commença à réagir avec la vapeur, attaquant ainsi les barres de combustibles. Celles-ci commencèrent à se désintégrer, libérant ainsi de l'hydrogène et un matériau intensément radioactif dans l'eau baignant le coeur du réacteur. Ce gaz et ce matériau furent transportés par l'eau en dehors du coeur du réacteur et l'ensemble du bâtiment fut ainsi contaminé.

Ce même jour vers 13h50, l'hydrogène contenu dans le bâtiment explosa. Cette explosion ne causa aucun dommage mais une peur panique s'empara de la population située autour de la centrale. La peur a été intensifiée par les rapports du samedi suivant, établis par l'office d'inspection, et envisageant les conséquences d'une explosion d'hydrogène dans le réacteur. D'après le rapport Kemeny, cette peur n'était pas justifiée.

"L'information relative au risque d'une explosion de l'hydrogène à l'intérieur du réacteur TMI-2 int avec le week-end. Cela provoqua une peur sans fondement et constitua une erreur malencontreuse qu'il aurait fallu corriger très vite de l'esprit du public. Malheureusement, le NRC ne fit aucun effort pour informer le public de leur erreur". (Rapport Kemeny page 126).

L'eau radioactive en provenance du réacteur, qui s'échappait du réservoir fêlé, était envoyée automatiquement dans les réservoirs des bâtiments auxiliaires, non prévus pour résister à la radioactivité. Bientôt ces réservoirs débordèrent et la radioactivité apparut dans le bâtiment auxiliaire et dans l'environnement de la centrale. Si les opérateurs avaient pensé à couper les pompes, l'eau radioactive serait restée dans le premier réservoir étanche à la radioactivité et l'échappement dans l'atmosphère n'aurait probablement jamais eu lieu.

Dans la soirée du mercredi, la crise à l'intérieur de la centrale était calmée. Les erreurs du matin avaient été découvertes et corrigées. L'eau circulait correctement, le système était stable et le processus long et délicat de refroidissement avait commencé.

Mais en dehors de la centrale, la crise se prolongeait en raison d'informations contradictoires concernant les dangers de la panne, et de l'absence d'information digne de foi sur la situation exacte. Le rapport Kemeny explique: "nous avons constaté un impact psychologique particulièrement grave sur la population voisine de la centrale...Au cours de la première semaine suivant l'accident, il y a eu des spéculations intenses sur la gravité de l'accident et sur ses conséquences. A plusieurs reprises, des responsables du gouvernement ainsi que des personnalités du NRC recommandèrent une évacuation immédiate. Ce qui n'était pas pour apaiser les esprits. Le vendredi, une mauvaise interprétation de l'imminence d'un risque de radiation fit recommander aux officiels de la NRC une évacuation immédiate...Le samedi et le dimanche, d'autres officiels de la NRC crurent à tort à l'imminence de l'explosion d'une bulle d'hydrogène bloquée dans le réacteur; l'évacuation fut encore le sujet majeur de discussion." (rapport Kemeny page 13).

Le rapport de la condition Kemeny conclut que "...l'effet le plus important de l'accident sur la santé de la population fut un impact psychologique très important bien qu'éphémère." (rapport Kemeny page 13).

Les effets de la radioactivité furent résumés par la commission de la manière suivante: "il a été estimé qu'entre le 29 Mars et le 15 Avril 1979, la radioactivité reçue par la population habitant dans un rayon de 80 kilomètres autour de la centrale représentait approximativement 2000 rems par personne. La dose annuelle de radiation par le sol est d'environ 240000 rems par personne; ce qui représente pour les personnes habitant à moins de 80 kilomètres de l'accident moins de 1% de plus. La dose moyenne reçue par une personne habitant à moins de 8 kilomètres d'une centrale nucléaire a été calculée pour être inférieure à 10% de la radiation annuelle terrestre. Elle l'était probablement moins." (rapport Kemeny page 34).

La commission conclut: "Sur la base de nos connaissances scientifiques actuelles, les doses de radiation reçues par la population suite à son exposition à la radioactivité due à l'accident, furent si petite que nous pouvons assurer qu'il n'y aura aucun cas supplémentaire de cancer, de développement anormal, ou de mutation génétique résultant de l'accident de TMI." (rapport Kemeny page 34).

## TABLEAU DES SCORES

```

*****
*          *          *          *
* RISQUE  *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*****
*          *          *          *          *          *
* 1  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 2  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 3  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 4  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 5  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 6  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 7  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 8  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 9  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
* 9  *          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*****

```



## PRECAUTIONS D'EMPLOI

Le logiciel que vous venez d'acquérir, se présente sous l'une des trois formes suivantes : cartouche, cassette ou disquette.

Si le programme est en cartouche, ne l'exposez pas à une chaleur excessive ni à une atmosphère corrosive ou des conditions atmosphériques extrêmes qui pourraient endommager les contacts.

Si le programme est en cassette ou en disquette, respectez bien les conseils ci-après :

- Ne l'exposez pas à la chaleur : évitez de poser une disquette sur l'ordinateur ou sur l'unité de disquette.
- Ne touchez jamais avec les doigts la bande magnétique elle-même ou la disquette magnétique
- Ne fumez pas ! En effet, les poussières très fines composant la fumée se déposent sur les parties magnétiques et il s'ensuit une usure prématurée du support.
- Veillez à tenir ces supports suffisamment éloignés de tout champ magnétique. Ne posez pas de disquette sur votre téléviseur ou à proximité de l'écran.
- N'éteignez jamais votre unité de disquette alors que la lampe « BUSY » est allumée. Vous risquez de magnétiser les têtes.
- Toute opération d'allumage ou d'extinction de l'unité de disquette doit se faire sans disquette à l'intérieur.
- N'écrivez jamais directement sur la disquette.
- N'utilisez jamais d'épingle ou de trombone sur une disquette.
- Stockez de préférence vos disquettes et vos cassettes à la verticale.
- Evitez toute contrainte mécanique sur ces supports ; ne posez pas de livre par-dessus, ne les faites pas tomber par terre, etc.
- Ne faites pas d'encoche, de perforation ou de découpe dans la pochette de la disquette.

En pratique, il est facile de respecter toutes ces conditions, mais n'oubliez pas que 98 % des défauts constatés proviennent en fait d'une mauvaise manipulation.



ATARINSIDE