

*Nous sommes en hiver, à proximité d'un petit village au sommet d'une montagne. La nuit, l'air y est très froid et la température tombe en-dessous de 0°C. Dans ces conditions, l'humidité de l'air gèle et tout finit par être recouvert de glace, y compris les lignes à haute tension. Par ailleurs, il arrive qu'il neige, et que de la neige s'accumule sur les lignes. Si la neige fond sous l'action du soleil, la nuit, elle se transforme en glace. Jour après jour, la couche de glace s'épaissit et son poids exerce une pression sur les lignes, qui peuvent ainsi se casser. Si cela arrive, les habitants du village se retrouvent sans électricité dans leur maison jusqu'à ce que les dégâts soient réparés. Il faut donc trouver une solution pour la société qui fournit le courant électrique.*



**Fig. 1** : Lignes électriques recouvertes de neige

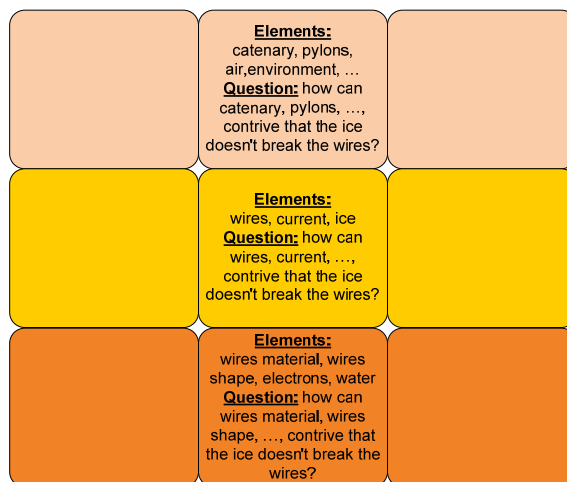
*La première solution proposée consistait à augmenter le diamètre des fils de cuivre. Mais il est bien connu que le cuivre est cher, et il aurait été nécessaire de remplacer la ligne électrique dans son intégralité. Une autre solution consisterait à enterrer toutes les lignes afin de les protéger, ou encore de doubler le nombre de pylônes, mais un petit village ne pourrait se permettre ces investissements.*

*Un des techniciens suggère d'exploiter la chaleur générée par effet de Joule par les câbles ; cependant, il serait nécessaire d'augmenter l'intensité du courant, ce qui impliquerait une augmentation de la consommation électrique.*

*Une solution non-standard doit être trouvée ! Suivons un processus de résolution de problème selon TRIZ.*

Lorsque l'on ne sait pas clairement comment résoudre un problème ou quel est le problème à résoudre, le premier outil TRIZ à utiliser est l'Opérateur Système (paragraphe 1.3.3.5). Ce dernier permet de choisir le bon problème à résoudre en analysant la situation initiale d'un point de vue temporel ou dans le cadre d'une chaîne cause-effet. Nous devons commencer par définir la case de référence (système présent). Le niveau de détail ou la fourchette temporelle choisis comme case de départ ne sont pas importants, mais il est extrêmement important de réaliser une analyse consistante lors de la recherche de problèmes connexes dans les autres cases.

Nous avons le problème initial: une grande quantité de glace se forme sur les câbles électriques et cela provoque l'endommagement des câbles. Nous pouvons choisir cette scène comme case centrale de notre opérateur système, et les éléments à lister ne seront que les câbles, la glace et le courant. Et nous devons réfléchir à cette question : comment les éléments du « système présent » peuvent-ils agir contre l'action nocive de la glace sur les câbles ? Nous pouvons maintenant compléter le schéma, tel que représenté dans la Figure 2.



**Fig. 2 :** recherche de problèmes connexes : colonne « présent » de l'Opérateur Système

Eléments : caténaire, pylône, air, environnement ... Question : comment la caténaire, les pylônes ... peuvent-ils faire en sorte que la glace ne casse pas les câbles ?

Eléments : câbles, courant, glace ... Question : comment les câbles, le courant ... peuvent-ils faire en sorte que la glace ne casse pas les câbles ?

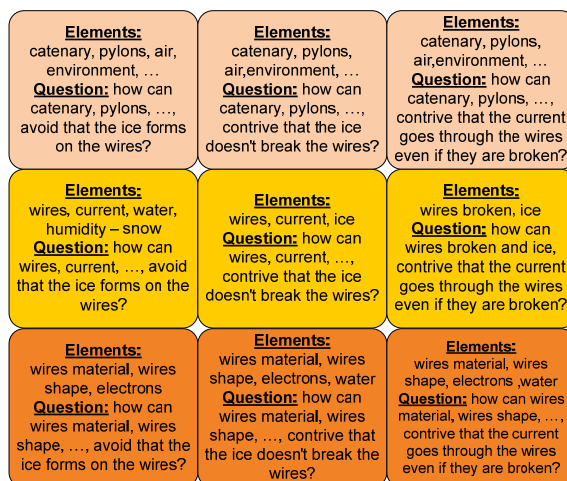
Eléments : matériaux des câbles, forme des câbles, électrons, eau ... Question : comment les matériaux des câbles, la forme des câbles ... peuvent-ils faire en sorte que la glace ne casse pas les câbles ?

Souvenez-vous que toutes les cases d'une même colonne sont caractérisées par un « cadre temporel » identique, tandis que les cases sur une même ligne représentent le même niveau de système. Il est judicieux de se souvenir que chaque colonne se caractérise par le même problème / la même question, alors que les sujets, c'est-à-dire les ressources, changent.

Concentrer son attention sur une colonne du côté gauche de la matrice (passé) équivaut à considérer les possibilités de prévention : le temps des cases de gauche correspond au moment où la grande quantité de glace n'est pas encore formée, et se trouve sous forme d'eau, de neige, d'humidité ou d'une fine couche de glace.

À l'inverse, se concentrer sur la colonne de droite de la matrice (futur) équivaut à admettre que le problème de la colonne « présent » n'a pas été résolu, et qu'une approche compensatrice doit être envisagée à l'avenir. Dans ce cas, c'est-à-dire dans la colonne de droite, on suppose que la glace a cassé les câbles.

Par conséquent, des problèmes différents / spécifiques sont associés aux différentes cellules de la matrice de l'Opérateur Système. La Figure 3 représente le schéma complété. Il vaut la peine de noter qu'en général l'Opérateur Système peut se composer de plus de 9 cases puisque chaque système peut être divisé en sous-système, que chaque cadre temporel a un passé et un futur, etc. On suggère de stopper l'analyse lorsque les tâches sortent du cadre du travail / du rôle de la personne chargée de résoudre le problème (par ex. comment éviter les changements météorologiques?).



**Fig. 2** : recherche de problèmes connexes : colonne « présent » de l'Opérateur Système

Row 1 :

Eléments : caténaire, pylône, air, environnement ... Question : comment la caténaire, les pylônes ... peuvent-ils éviter que de la glace ne se forme sur les câbles ?

Eléments : caténaire, pylône, air, environnement ... Question : comment la caténaire, les pylônes ... peuvent-ils faire en sorte que la glace ne casse pas les câbles ?

Eléments : caténaire, pylône, air, environnement ... Question : comment la caténaire, les pylônes ... peuvent-ils faire en sorte que le courant passe dans les câbles même si ces derniers sont cassés ?

Row 2 :

Eléments : câbles, courant, eau, humidité - neige ... Question : comment les câbles cassés, la glace ... peuvent-ils éviter que de la glace ne se forme sur les câbles ?

Eléments : câbles cassés, glace ... Question : comment les câbles, le courant ... peuvent-ils faire en sorte que la glace ne casse pas les câbles ?

Eléments : câbles, courant, glace ... Question : comment les câbles, le courant ... peuvent-ils faire en sorte que le courant passe dans les câbles même si ces derniers sont cassés ?

Row 3 :

Eléments : matériaux des câbles, forme des câbles, électrons, eau ... Question : comment les matériaux des câbles, la forme des câbles ... peuvent-ils éviter que de la glace ne se forme sur les câbles ?

Eléments : matériaux des câbles, forme des câbles, électrons, eau ... Question : comment les matériaux des câbles, la forme des câbles ... peuvent-ils faire en sorte que la glace ne casse pas les câbles ?

Eléments : matériaux des câbles, forme des câbles, électrons, eau ... Question : comment les matériaux des câbles, la forme des câbles ... peuvent-ils faire en sorte que le courant passe dans les câbles même si ces derniers sont cassés ?

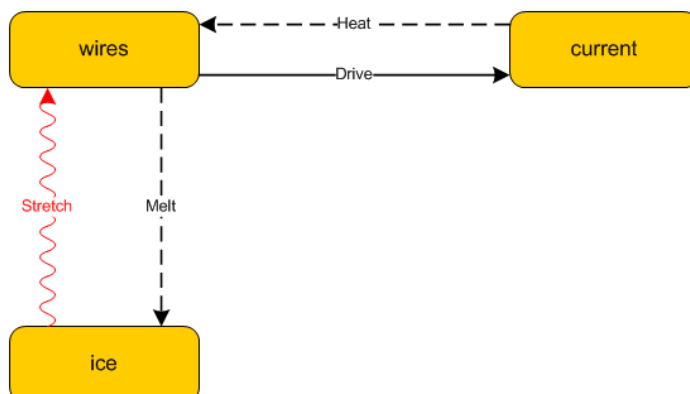
Nous devons maintenant choisir entre neuf (peut-être davantage) de problèmes spécifiques, tous visant à atteindre le même but final : fournir aux habitants du petit village sur la montagne un service régulier de courant électrique.

Prenons la case centrale comme point de départ :

Afin de mieux comprendre comme le système fonctionne, et comment le problème apparaît, il est utile de créer un modèle fonctionnel du système avec les conditions de fonctionnement correspondant à la case sélectionnée de l'Opérateur Système.

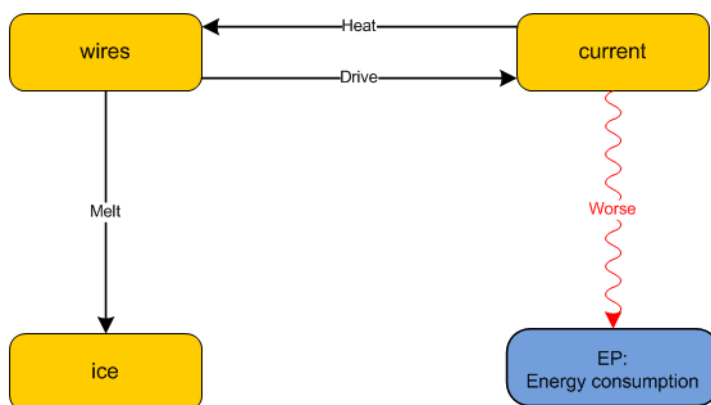
Dans ce cas, le modèle sera très simple car nous n'avons que quelques éléments. Nous devons commencer par représenter la fonction utile (f.u.) du système : les câbles transmettent ou conduisent le courant. Ensuite, nous pouvons ajouter tous les autres éléments présents qui participent à la f.u. ou sont des conséquences de la f.u., et enfin les éléments qui produisent ou participent à la fonction nocive, c'est-à-dire à l'endommagement des câbles par la neige. Lorsque

nous avons listé tous les éléments, nous devons considérer toutes les actions que réalisent les uns par rapport aux autres. Le résultat est représenté dans la Figure 4.



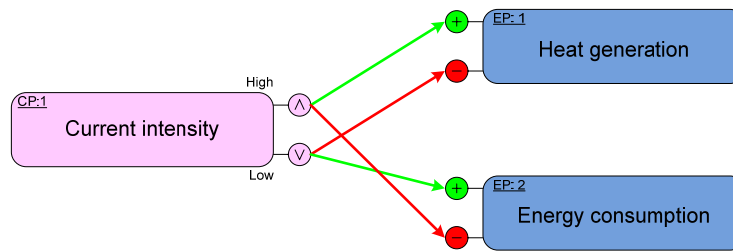
**Fig.4** : Modèle fonctionnel décrivant la situation dans la case « Système Présent » de l'Opérateur Système.  
Câbles – chauffent – conduisent – courant - étirent – font fondre – glace

Afin d'éviter que la glace ne fasse céder les câbles électriques, nous pouvons utiliser la chaleur générée par le courant, même si elle n'est pas suffisante pour faire fondre la glace. Nous pouvons donc imaginer d'augmenter l'intensité du courant afin d'augmenter l'effet de Joule, et donc la température sur les câbles. Nous devons créer un modèle fonctionnel avec l'hypothèse qu'un courant de forte intensité passe dans les câbles (figure 5).



**Fig. 5** : Modèle fonctionnel du système lorsque qu'un courant de forte intensité est appliqué au câble électrique  
Câbles – chauffent – conduisent – courant – pire – PE : consommation énergétique  
- font fondre – glace

Comme nous pouvons le voir dans la figure 5, un courant de forte intensité n'entraîne pas de fonction nocive directe sur un élément, mais entraîne simplement la détérioration d'un Paramètre d'Évaluation. Nous avons donc une contradiction : en fait, si l'intensité du courant présente une intensité élevée, le problème de la glace est résolu, mais une fonction nocive apparaît du point de vue de la consommation d'énergie ; en outre, si le courant électrique est faible, la chaleur générée par effet de Joule n'est pas suffisante pour faire fondre la glace. Le modèle de cette contradiction est représenté dans la figure 6.



**Fig. 6** : le modèle OTSM d'une contradiction (paragraphe 5.1.2)

Intensité du courant – génération de chaleur - consommation énergétique

D'après les étapes suggérées par ARIZ (chapitre 3), la Zone Opérationnelle et le Temps Opérationnel doivent être identifiés.

La Zone Opérationnelle peut être considérée comme la somme des surfaces externes des câbles, les surfaces de glace en contact avec ces surfaces et la section des câbles dans lequel passe le courant. Le Temps Opérationnel est l'intervalle pendant lequel la glace exerce une pression sur les câbles, pendant lequel la glace commence à se former et pendant la transmission du courant électrique.

Conformément aux explications du Paragraphe 5.3 du manuel TETRIS, nous pouvons maintenant appliquer les Principes de Séparation pour résoudre la contradiction physique. La première séparation est la séparation dans le temps. Nous pouvons appliquer ce principe s'il est possible de répondre par la négative à la question suivante : est-il vrai que nous voulons une forte intensité de courant pendant tout le temps opérationnel, et que nous voulons une faible (normale) intensité de courant pendant toute le temps opérationnel ? Ici, il est clair que la réponse est « non » !

En fait, nous avons besoin de courant supplémentaire uniquement quand la glace exerce une pression sur les câbles, et de courant normal le reste du temps. Quelles ressources du super-système sont directement disponibles pour changer l'intensité du courant en fonction de la tension mécanique sur les câbles ? Un nouveau problème apparaît par ailleurs : comment est-il possible de mesurer la tension mécanique ou une surcharge sur les câbles indiquant qu'il faut changer l'intensité électrique ? Des solutions possibles peuvent être trouvées en utilisant la Classe 4 des Solutions Standard (chapitre 4).

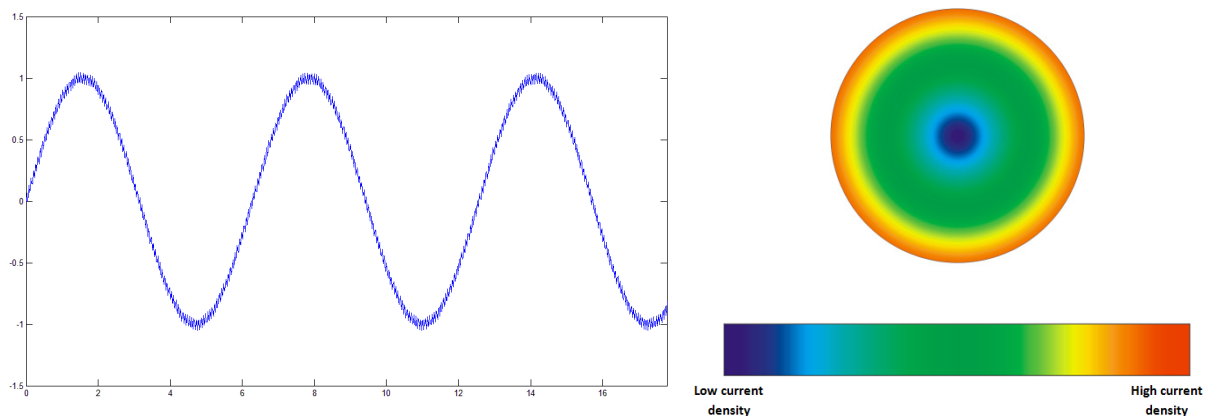
Le deuxième principe pour surmonter les contradictions physiques est la séparation dans l'espace. Comme pour le principe précédent, ce principe est adéquat dans la situation spécifique si la réponse suivante entraîne une réponse négative : est-il vrai que nous voulons une valeur élevée de courant dans toute la zone opérationnelle et que nous voulons une valeur faible de courant dans toute la zone opérationnelle ?

En fait, une valeur élevée de courant n'est requise que sur la surface des câbles pour les chauffer et pour faire fondre la glace, tandis qu'une valeur normale (faible) de courant est nécessaire dans le reste de la section des câbles pour alimenter le village et éviter le gaspillage d'énergie.

Quel type de ressources avons-nous dans le système, ou quels types de ressources sont facilement accessibles dans le super-système, pour créer une valeur différente de densité de courant sur la surface des câbles et dans leur section interne ?

Si les connaissances de la personne / de l'équipe ne sont pas suffisantes pour répondre à ce type de question, nous pouvons recourir à un autre outil de la base de connaissance de TRIZ, la Base de Données des Effets (paragraphe 5.6.4) dans laquelle nous pouvons trouver l'effet de peau ou de surface selon lequel lorsque le courant alternatif présente une fréquence élevée, sa densité près de la surface du câble est plus importante qu'en son cœur.

Nous pouvons ainsi chauffer les câbles uniquement à l'endroit où nous le souhaitons tout en évitant une consommation excessive d'énergie en superposant un courant haute fréquence et basse intensité sur le courant électrique habituel de 50-60Hz.



**Fig. 7** : à g. – la principale courbe sinusoïdale du courant alternatif avec la superposition du courant additionnel de haute fréquence ; à d. – la répartition de la densité du courant dans la section du câble