

Fiche n°1

Comment est né le réseau à haute tension ?

L'utilisation industrielle de l'électricité remonte au XIX^e siècle, avec l'invention de la dynamo par Zénobe Gramme en 1869. À l'époque, il était uniquement question de **courant continu**.

Avec l'accroissement de la demande et la nécessité de transporter des puissances électriques de plus en plus importantes, le courant continu a été progressivement supplanté par le **courant alternatif** grâce à l'invention du transformateur, en 1881. Ce dispositif a permis d'augmenter la tension des liaisons électriques et de réduire les pertes résultant du transport de l'électricité sur de longues distances.

LE RÉSEAU À HAUTE TENSION POUR TRANSPORTER L'ÉLECTRICITÉ

Le réseau électrique à haute tension, constitué de lignes aériennes et de câbles souterrains ressemble à une immense toile d'araignée reliant les centrales de production d'électricité aux grands centres de consommation. À la sortie de la centrale, l'électricité est portée à une tension élevée, au moyen d'un transformateur. L'électricité est ensuite transportée et ramenée à des niveaux de tension inférieurs, en fonction des besoins des utilisateurs, dans des postes de transformation.

Qui sont les utilisateurs de la haute tension ? Tout d'abord, les industries grandes consommatrices d'électricité, comme le secteur de la chimie, les chemins de fer,

et ensuite les sociétés de distribution d'électricité Sibelga (Bruxelles), Ores et Tecteo (Wallonie), Eandis et Infrax (Flandre). Leur rôle est d'acheminer l'électricité vers les entreprises de plus petite taille et les particuliers.

Le réseau à haute tension d'Elia est constitué de liaisons dont la tension s'élève à 380.000 volts (380 kilovolts ou kV), 220.000 volts (220 kV), 150.000 volts (150 kV), 110.000 volts (110 kV), 70.000 volts (70 kV), 36.000 volts (36 kV), 30.000 volts (30 kV) ou 26.000 volts (26 kV). Les sociétés de distribution ramènent l'électricité à des tensions entre 15.000 et 5.000 volts (entre 15 kV et 5 kV). Les foyers domestiques sont alimentés en 230 volts.

UN RÉSEAU MAILLÉ

Pour éviter la multiplication des sites de production d'électricité et pour permettre de les installer en-dehors des zones urbaines, des réseaux « maillés » (en référence à la structure d'une toile d'araignée) se sont développés. Les mailles permettant en effet d'alimenter un point donné dans le réseau par plusieurs chemins différents et de relier les centrales de production aux centres de consommation.

Ces réseaux maillés permettent également d'améliorer la continuité et la fiabilité de la fourniture d'électricité. Si une panne survient dans une centrale, ou si une liaison devient indisponible à la suite d'un défaut, les centrales ou les liaisons voisines prennent immédiatement le relais et l'alimentation en énergie n'est pas interrompue.

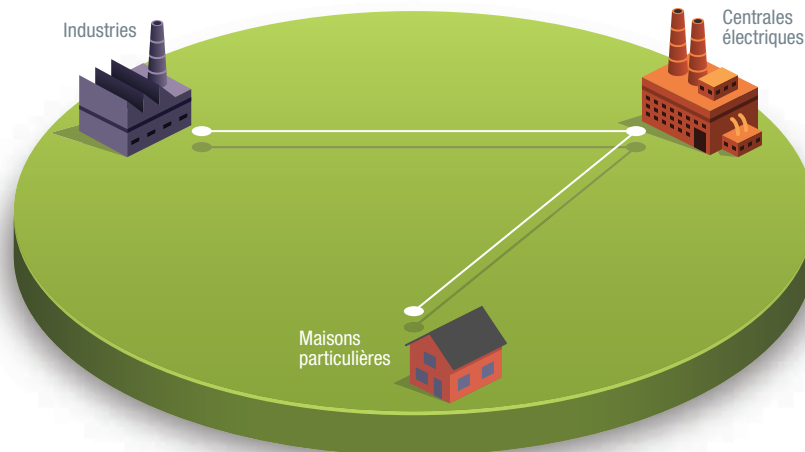
Fiche n°1

ADAPTER LE RÉSEAU AU NOUVEAU CONTEXTE

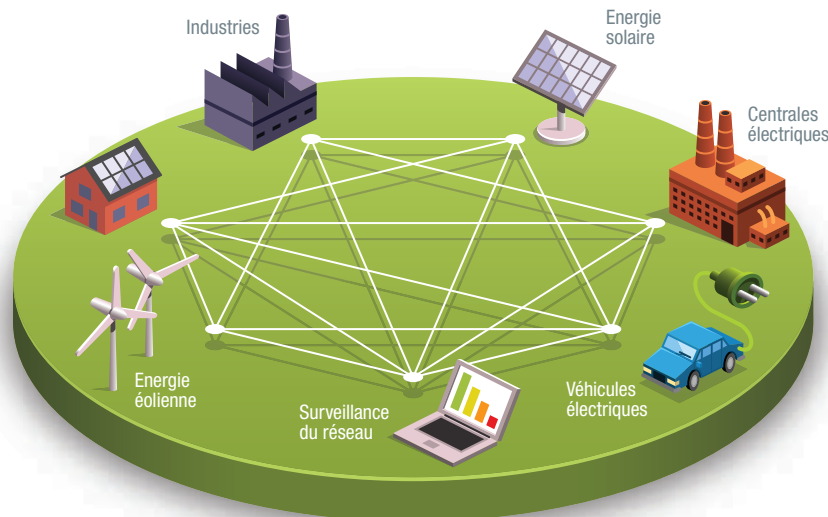
La sécurité d’approvisionnement constitue un défi important pour les années à venir. Le vieillissement du parc de production d’énergie classique, la sortie du nucléaire et l’intégration des sources d’énergie renouvelable entraînent un changement fondamental dans la manière dont nous nous approvisionnons en énergie en Europe. Les nouvelles unités de production

d’énergie renouvelable (parcs éoliens offshore) sont de plus en plus éloignées des villes. La production décentralisée (photovoltaïque, biomasse, etc.) se développe rapidement. Ces évolutions influencent la gestion du réseau de transport. En outre, nos besoins en énergie ne cessent d’augmenter. Afin de pouvoir améliorer et assurer une meilleure intégration des flux d’énergie, il nous faut adapter le réseau de transport à ce nouveau contexte.

Réseau traditionnel



Réseau actuel

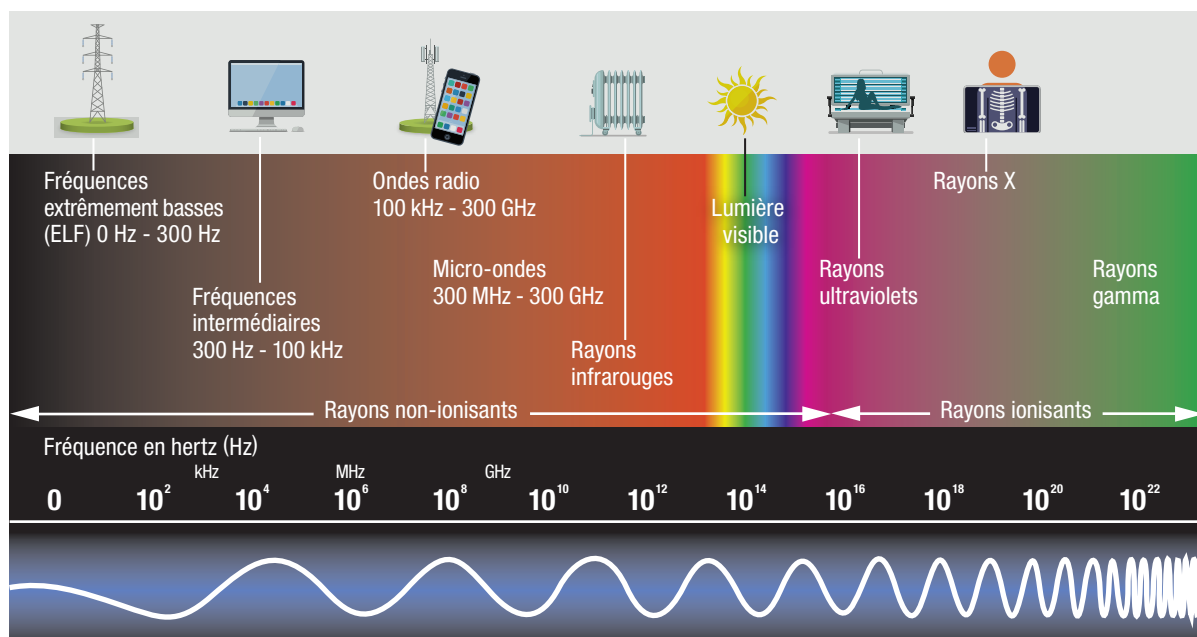


Fiche n°2

Le spectre électromagnétique

La gamme de fréquences et de longueurs d'onde est très large et porte le nom de **spectre électromagnétique**. Une onde électromagnétique transporte l'énergie sous la forme de petites particules, appelées photons. Plus la fréquence est élevée, plus la quantité d'énergie photonique

sera importante. Les champs électromagnétiques peuvent être produits par des sources très diverses, naturelles ou artificielles : des antennes, un feu, un radiateur, un être vivant ou un simple objet.



RAYONS NON-IONISANTS

Les rayons de fréquences inférieures à 10¹⁵ Hz, dont l'énergie est insuffisante pour rompre les liaisons moléculaires (et ne provoquent pas l'apparition d'ions), sont appelés non-ionisants. Ils sont représentés à gauche du tableau ci-dessus.

À l'extrême gauche du tableau, on retrouve les **Fréquences Extrêmement Basses** liées, entre autres, aux lignes à haute tension. Plus loin, on trouve les fréquences intermédiaires (écran d'ordinateur), puis, successivement les ondes de radiodiffusion et les ondes de télévision, les micro-ondes (four, radar, GSM) et les rayons infrarouges. La fréquence de la lumière visible est comprise entre 385 et 750 THz (millions de millions de cycles par seconde).

Toutes ces fréquences caractérisent le domaine des **rayons non-ionisants**. Les ultraviolets représentent une zone de transition entre rayons ionisants et non-ionisants.

RAYONS IONISANTS

Aux fréquences très élevées, supérieures à 1.000 THz (1.000 térahertz, c'est-à-dire mille millions de millions de cycles par seconde), cette énergie photonique est suffisante pour arracher les électrons des atomes et molécules (ionisation), modifier leur nature chimique et donc abîmer les cellules vivantes.

Ces ondes sont appelées **rayons ionisants**. Certains rayons ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma en font partie. Ils figurent à droite du tableau.

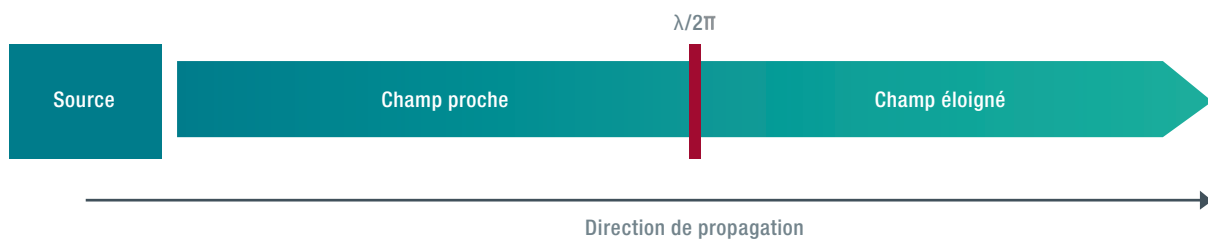
Les sources des rayons ionisants peuvent être naturelles (soleil, étoiles, substances radioactives) ou artificielles (appareil à rayons X, lampes à UV, etc.).

Fiche n°3

Champs proches et champs éloignés

D'un point de vue pratique, le comportement des champs n'est pas le même en haute et basse fréquence. En effet, il varie en fonction de la proximité de la source qui les produit. L'espace entourant une source de champs est divisé en

deux zones : celle des champs proches et celle des champs éloignés. La position de la séparation entre ces deux zones dépend de la fréquence des champs considérés ou, ce qui revient au même, de leur longueur d'onde.



Champs éloignés : Champ électrique et champ magnétique sont intimement liés entre eux à une distance (d) de la source supérieure à environ un sixième de la longueur d'onde (en toute rigueur, la longueur d'onde/ 2π , c'est-à-dire $d > \lambda/2\pi$). Ils se propagent dans l'espace sous forme d'**ondes électromagnétiques** se déplaçant à la vitesse de la lumière.

Champs proches : Champ électrique et champ magnétique sont indépendants l'un de l'autre mais dépendants de la source qui les a produit jusqu'à une distance de celle-ci inférieure d'un sixième de longueur d'onde ($d < \lambda/2\pi$). Ces champs ne se propagent pas dans l'espace et on ne parle alors pas de **rayonnement**, mais simplement de la génération de champ électrique ou de champ magnétique. À 50 Hz, la fréquence extrêmement basse des liaisons à haute tension, la longueur d'onde est de 6 000 km. Par conséquent, jusqu'à environ 1000 km de leur source, les champs

électriques et magnétiques produits par les liaisons électriques ne se propagent pas, ce sont des champs proches.

Au-delà de 1000 km on pourrait parler de propagation d'onde et de rayonnement électromagnétique, mais cette distance est si grande qu'en pratique les champs y sont complètement atténués et quasi inexistantes.

On peut montrer en effet que les champs proches s'atténuent le plus souvent en raison inverse du carré de la distance à la source (c-à-d en suivant une loi en $1/d^2$ avec d la distance à la source). En revanche, les champs éloignés s'atténuent toujours en raison inverse de cette distance (loi en $1/d$).

A titre de comparaison, la longueur d'onde d'un champ à 1,8 GHz émis par un GSM est de 1,6 m ; à partir d'une trentaine de cm du GSM on se situe dans le champ proche et on est donc en présence d'un rayonnement électromagnétique.

Fiche n°3

Comme indiqué dans la fiche au sujet du spectre électromagnétique, la notion de champ ionisant ou non-ionisant est liée à la capacité d'un **rayonnement** d'arracher des électrons à des atomes. Cette capacité augmente proportionnellement avec la fréquence.

Bien que les champs à 50 Hz **ne rayonnent pas** à proprement parler, l'énergie qui leur est associée aux niveaux habituels rencontrés près des liaisons à haute tension est en général beaucoup plus faible que celle associée aux rayonnements à plus haute fréquence.

CE QUE VOUS DEVEZ SAVOIR/RETENIR

- Les champs à haute fréquence sont souvent des champs éloignés qui se propagent dans l'espace sous forme d'**ondes électromagnétiques** se déplaçant à la vitesse de la lumière.
- Les champs proches à très basse fréquence ne se propagent pas dans l'espace et on ne parle alors pas de **rayonnement**, mais simplement de la génération de champ électrique ou de champ magnétique.
- Le qualificatif de « rayonnement non-ionisant » ne s'applique qu'aux champs éloignés. Cependant, l'énergie associée aux champs à très basse fréquence (par exemple à 50 Hz) est souvent si faible qu'on les qualifie également de non-ionisants.



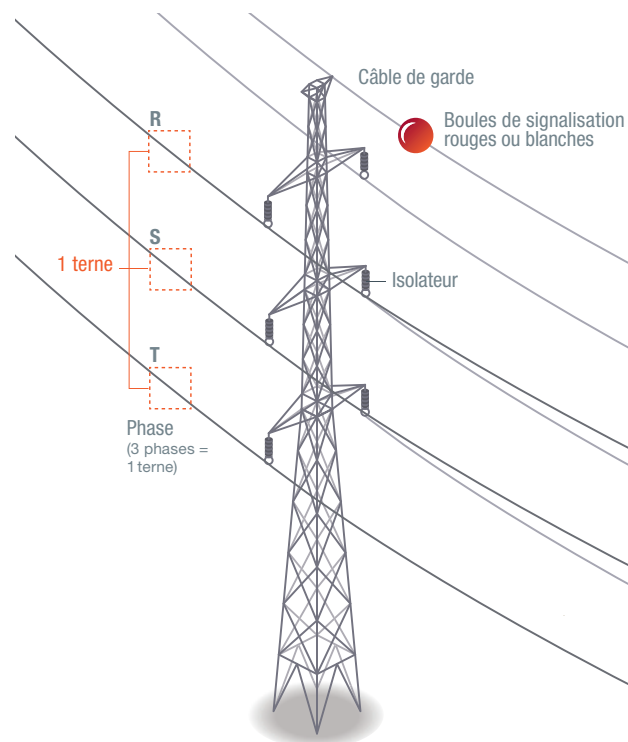
Fiche n°4

Transposition des phases d'une ligne à haute tension

La plupart des lignes à haute tension comportent deux circuits, c-à-d deux ensembles de trois câbles conducteurs aussi appelés « **terne** ». Chaque conducteur d'un terne véhicule un courant alternatif à 50 Hz variant sinusoïdalement dans le temps mais le maximum de l'oscillation du courant (et de la tension) est décalé dans le temps (un tiers de la période* de 20 ms) en avant ou en arrière par rapport à celui véhiculé dans les deux autres conducteurs. On dit que le courant (la tension) dans chaque conducteur est « déphasé » de 120° par rapport à ceux des autres conducteurs, car on a l'habitude de considérer que la sinusoïde qui représente ce courant (cette tension) est obtenue par la projection sur un axe d'un segment de droite qui tourne comme une aiguille d'horloge autour d'un point fixe. De ce fait on parle aussi de la **phase** de chaque conducteur. Elle est repérée par une lettre (R, S, T) ou par un nombre (4, 8, 12) en faisant référence à la position des heures sur un cadran d'horloge.

Sachant que les champs, tant électrique que magnétique, générés par la ligne résultent de la sommation en tout point de l'espace des champs produits par chacun des deux ternes, il est parfois possible de jouer sur l'ordre des phases dans chacun des ternes pour faire en sorte que les champs générés par chaque conducteur, au lieu de s'additionner, se retranchent partiellement – on parle alors de compensation par **transposition** des phases. Les lignes ainsi compensées sont appelées ligne transposées.

Une telle transposition n'est pas toujours possible techniquement et n'a de sens que si les courants dans les deux circuits sont semblables ou fortement corrélés.

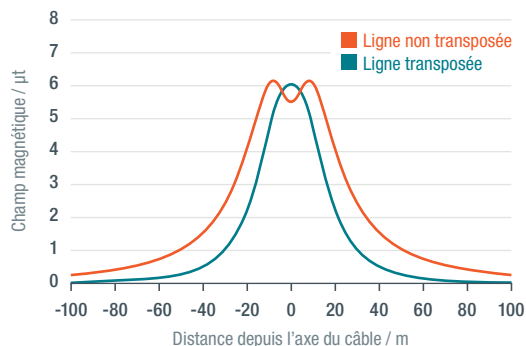


(*) Une période est la durée d'un cycle. A une fréquence de 50 Hz, les cycles sont de 50 par seconde. La durée d'un cycle est de 20 ms environ.

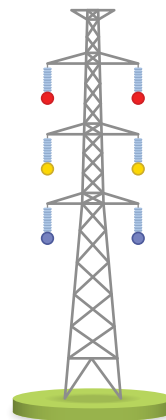
Fiche n°4

PARTICULARITÉS

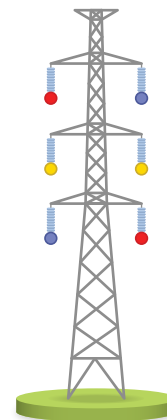
Une particularité d'une ligne transposée est que les champs sous la ligne, au lieu de présenter deux maxima à l'aplomb des conducteurs (cas le plus fréquent), n'en présentent qu'un seul dans l'axe de la ligne. Une autre particularité, plus importante encore, est que les champs produits par une ligne transposée décroissent en général comme l'inverse du cube de la distance à l'axe de la ligne ($1/d^3$), alors que pour une ligne non transposée ils décroissent en général comme l'inverse du carré de cette distance ($1/d^2$).



Comparaison entre un profil typique de champ sous une ligne transposée (bleu) et sous une ligne non transposée (rouge).



Ligne non transposée



Ligne transposée

Comparaison entre les positions des phases dans les deux ternes d'une ligne selon qu'elle est ou non transposée.

CE QUE VOUS DEVEZ SAVOIR

- Une ligne non transposée présente en général un maximum juste en-dessous de chacun des deux ternes. Une ligne transposée présente toujours un seul maximum situé dans l'axe de la ligne.
- Les champs électriques et magnétiques produits par une ligne transposée décroissent beaucoup plus vite au fur et à mesure qu'on s'en éloigne.

Fiche n°5

Les méthodes de recherche et les conclusions scientifiques

Dans le cadre d'une étude épidémiologique menée en 1979, les Américains Wertheimer et Leeper ont évoqué la possibilité d'un lien entre le fait de vivre à proximité de lignes à haute tension et un risque accru de cancer chez l'enfant.

Depuis lors, de très nombreuses recherches expérimentales (en laboratoire) et épidémiologiques se sont penchées sur la question de l'effet des champs magnétiques sur la santé.

COMMENT SE DÉROULE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ?

Si une observation ou étude ponctuelle peut donner une indication quant à un éventuel risque pour la santé, il faut cependant récolter les données fiables de plusieurs types d'études pour pouvoir conclure à un risque réel pour la santé. On distingue à cet égard deux types d'études : les études épidémiologiques et les études expérimentales.

- **Les études épidémiologiques** : portent sur de grandes populations et ont pour but d'établir un lien statistique entre l'apparition d'une maladie spécifique et un niveau d'exposition donné à un agent en particulier.
- **Les études expérimentales** : portent sur des cellules (in vitro), des animaux (in vivo) ou des volontaires.

ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTÉ

Pour évaluer les risques pour la santé, la meilleure solution consiste à utiliser des données provenant d'études menées sur la cellule, l'animal ou, mieux encore,

sur l'homme. Le lien entre exposition et effets à court terme peut parfois être établi sur la base de telles études menées en laboratoire. Les études de laboratoire sont cependant peu appropriées pour mettre en évidence des effets à long terme ; c'est pourquoi on a recours aux études épidémiologiques. Malheureusement, les études épidémiologiques qui trouvent un lien entre exposition à un agent physique et effet sur la santé ne permettent en général pas d'établir le lien de causalité entre les deux. Pour y arriver, il faut confirmer les résultats des études épidémiologiques par des études expérimentales. Dans le cas des champs magnétiques à très basse fréquence le lien de causalité entre exposition et effet sur la santé n'a pu être établi. Par ailleurs, toutes les études épidémiologiques ne sont pas de même qualité. Les chercheurs doivent en effet prendre toute une série de facteurs en compte afin d'éviter que des biais ou des facteurs confondants n'entachent les résultats.

Un lien entre cause et effet sera d'autant plus probable que le lien statistique constaté est lui-même fort, c'est-à-dire essentiellement que :

- la population étudiée est importante
- le rapport entre nombre de cas et de témoins est élevé
- l'exposition et l'effet sont constamment liés
- il existe une relation entre dose et effet
- il n'y a pas de facteur confondant
- il existe une explication biologique plausible.

Le tout étant étayé par des études pertinentes et reproductibles sur des animaux ou sur des cellules.



Fiche n°6

Application du principe de précaution

Les décisions politiques reposent généralement sur une base scientifique. Cette approche garantit leur fiabilité, leur neutralité et leur solidité. Cependant, les risques environnementaux et sanitaires de nombreuses applications technologiques récentes et de substances chimiques ne sont encore que trop peu connus du point de vue scientifique. On demande pourtant de plus en plus aux autorités publiques de mettre en place une politique qui tienne compte de cette incertitude, surtout dans des situations qui impliquent un danger potentiel grave, imminent ou irréversible.

En 2005, l'UNESCO a défini comme suit le **principe de précaution** : lorsque des activités humaines peuvent aboutir à un dommage moralement inacceptable, qui est scientifiquement plausible mais incertain, des mesures doivent être prises pour éviter ou limiter ce dommage.

Le **dommage moralement inacceptable** est un dommage pour les humains ou pour l'environnement qui est :

- menaçant pour la vie ou la santé humaine, ou bien
- grave et irréversible, ou bien
- inéquitable pour les générations présentes ou futures, ou bien
- imposé sans qu'aient été pris dûment en compte les droits humains de ceux qui le subissent.

Le jugement de **plausibilité** doit se fonder sur des analyses scientifiques. La recherche doit continuer pour que les mesures prises puissent toujours être revues.

L'**incertitude** peut porter, mais sans nécessairement s'y limiter, sur la causalité ou sur les limites du dommage potentiel.

Les **actions** sont des interventions entreprises avant que le dommage ne survienne et visant à éviter ou à diminuer celui-ci. Les actions choisies doivent être proportionnelles à la gravité du dommage potentiel, prendre en considération leurs conséquences positives et négatives et comporter une évaluation des implications morales tant de l'action que de l'inaction. Le choix de l'action doit être le résultat d'un processus participatif.

