

ETUDES DE DEVELOPPEMENT DE RESEAUX HAUTE ET MOYENNE TENSION INTEGRANT DE LA PRODUCTION DECENTRALISEE

F. Dispot - S. Motte

Electricité de France - Direction des études et recherches

1, Avenue du Général de Gaulle, 92141 CLAMART Cedex (France)

Tel: +33 1 47 65 36 44 - Fax: +33 1 47 65 42 06 - E-mail: francois.dispot@edf.fr

RESUME

L'émergence de moyens de production décentralisée performants implique un changement dans les processus décisionnels actuels en matière de développement des réseaux. Cet article présente une extension des méthodes actuelles, donnant des résultats cohérents avec les études précédemment réalisées, avec des spécificités propres à la moyenne et à la haute tension. Un algorithme de dimensionnement des sites de production est présenté, ainsi que son application dans le cadre du groupe de travail GS-23 dirigé par le Ministère français de l'industrie.

INTRODUCTION

Le développement de la production décentralisée en France amène une importante évolution dans le domaine du développement des réseaux, s'appuyant jusqu'ici sur l'existence d'un ensemble réduit mais très sûr de groupes de production.

Plutôt que de développer une méthode totalement nouvelle pour le développement des réseaux, l'idée directrice des principes exposés plus loin est d'étendre le système existant, de telle sorte que les méthodes préexistantes deviennent un sous-ensemble des nouvelles. Cette façon de faire garantit que les résultats d'études précédemment réalisées, en l'absence de production centralisée, demeurent inchangés lors de l'application des nouvelles règles.

Cet article décrit une méthode déterminant si un élément de réseau est contraint ou non, puis la façon dont la qualité d'alimentation est prise en compte, puis un algorithme utilisé pour déterminer la taille optimale d'un site de production décentralisée. Ces méthodes ont été appliquées à un cas réel dans le cadre du groupe de travail GS-23, mené par le Ministère de l'industrie.

Dans la mesure où les situations respectives de la moyenne tension et de la haute tension diffèrent, tant par leurs structures que par le type de données disponibles, les méthodes concernant chaque niveau de tension seront abordées séparément en tant que de besoin.

DETERMINATION DES CONTRAINTES

L'objectif de la recherche préalable de contraintes est de doter le planificateur de méthodes simples et efficaces pour localiser spatialement et temporellement les renforcements de réseaux les plus utiles. Cette étape ne remplace pas l'optimisation économique qui intervient dans un second temps, mais permet d'économiser en temps et en main d'œuvre en n'effectuant aucun calcul complexe dans des situations ne le méritant pas.

Haute tension

Un renforcement est nécessaire lorsque l'exploitation saine du système n'est plus possible. Les déficiences des réseaux haute tension sont déterminées en fonction de quatre critères:

- la charge maximale admissible dans chaque élément de réseau ne doit pas être dépassée
- un nombre maximal de coupures brèves et longues ne doit pas être dépassé
- un seuil minimal de courant de court-circuit doit être atteint sur chaque jeu de barres, et la tenue aux courts-circuits de chaque équipement doit être respectée.
- la valeur de la tension doit être conforme à des valeurs minimale et maximale normatives.

Ces exigences doivent être respectées non seulement en schéma d'exploitation normal (règle du "N"), mais aussi en cas de défaillance de lignes ou de groupes de production (règle du "N-k").

Dans un contexte impliquant des sites de production centralisés, les groupes sont majoritairement connectés au réseau THT ce qui permet, dans une étude HT, de ne tenir compte que de la perte de lignes HT. De plus, en raison de leur taux d'indisponibilité (de l'ordre de 10^{-4}), il n'est pas nécessaire de considérer la perte simultanée de plusieurs lignes. Cependant, lorsque l'on considère de la production décentralisée connectée au réseau HT et présentant un taux d'indisponibilité élevée (de l'ordre de 5.10^{-2}), les conséquences de la perte conjointe d'un élément de réseau et d'un groupe de production, ou de plusieurs groupes de production doit être étudiée. En fait, toutes les situations atteignant une probabilité d'occurrence de 10^{-4} doivent être prises en considération. Par conséquent, on peut constater que les situations à étudier sont: N-1 élément de réseau, N-1 groupe, N-2 groupes, N-1 élément de réseau et N-1 groupe, N-3 groupes.

Les études de développement de réseaux HT sont effectuées en considérant plusieurs niveaux de consommation. Ceux-ci sont un point de consommation haute (traditionnellement un point d'hiver en France, mais un nombre croissant de pointes été apparaissent avec le développement de la climatisation), un point de faible consommation (pouvant par exemple mener à des surtensions) et un point d'intersaison (avec une consommation importante mais des capacités de transit réduites). La prise en compte de la production décentralisée n'affecte pas ces hypothèses liées à la consommation.

Moyenne tension

La recherche de contraintes sur un réseau moyenne tension consiste traditionnellement à réaliser une seule étude en schéma normal, utilisant un haut niveau de consommation à faible probabilité (risque équivalent à une vingtaine d'heures par an). Dans cette situation, une recherche de surintensités et de chutes de tension excessives est effectuée, aboutissant à un éventuel ensemble de contraintes. Dans un contexte impliquant peu de groupes de production, de fiabilité élevée, une telle approche peut être conservée.

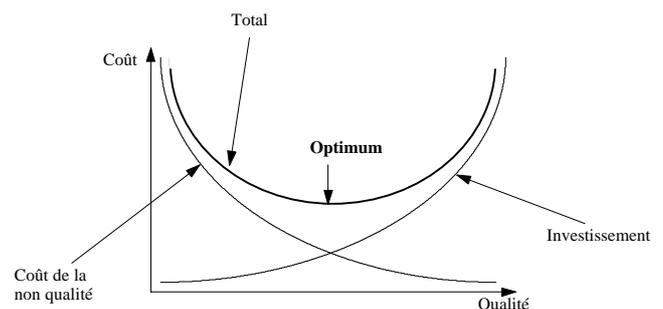
Cependant, des groupes nombreux ou peu fiables peuvent créer des situations ambiguës dans lesquelles des contraintes sont partiellement résolues, ou n'apparaissent que dans certaines situations. Dans de tels cas, une approche probabiliste peut être développée. Dans toute situation de réseau, une simulation indique les surintensités et problèmes de tension les plus aigus. A partir de ces résultats, il est possible d'estimer la durée annuelle probable durant laquelle des contraintes sont rencontrées, pour chaque configuration de production. En multipliant la durée de risque la plus défavorable par sa probabilité d'occurrence donne une durée de risque probable. L'addition des durées obtenues pour chaque situation de disponibilité donne la durée de risque moyenne probable pour le réseau. Au sein des diverses configurations de disponibilités possibles, seules les plus vraisemblables sont prises en considération, avec un seuil de prise en compte de 10^{-4} quant à leur probabilité d'occurrence.

Comme il a été précisé plus haut, les contraintes sont déterminées dans un contexte de consommation à faible probabilité. Ce contexte de référence peut être considéré comme un seuil de détection probabiliste (par exemple 20 heures), que l'on peut à son tour comparer avec la durée de risque moyenne probable. Ce procédé permet l'extension de l'approche conventionnelle à des situations complexes, donnant des résultats identiques dans des situations ne présentant pas de production décentralisée, mais permettant de répondre à la question "une surintensité de 10% résolue 90% du temps est-elle résolue?"

Une autre évolution vient du fait que les études de réseau en l'absence de production décentralisée étaient réalisées à partir d'une seule valeur de référence pour la consommation, située à la pointe annuelle. Dans une situation incluant de la production décentralisée, plusieurs problèmes apparaissent, qui justifient le recours à plusieurs niveaux de consommation. Le premier point est l'émergence possible de contraintes d'évacuation lorsqu'un faible niveau de consommation ne peut compenser la surcharge ou la surtension créée par une installation de production surdimensionnée. La résolution de ce point nécessite de recourir à un point de faible consommation. Un autre problème provient de la possible variation dans le temps de la puissance produite par une installation de production en fonction de considérations contractuelles ou tarifaires. Ceci amène le planificateur à introduire une étude de demi-saison pour vérifier l'état du réseau lorsque la production décentralisée est réduite tandis que la consommation reste importante.

VALORISATION DE LA DEFAILLANCE

L'un des buts des études de développement des réseaux est de parvenir à un bon compromis entre qualité et coût de développement. Un moyen de parvenir à cet objectif réside dans l'optimisation globale des investissements, pertes, coûts d'exploitation et qualité. Ce calcul global peut être conduit en définissant une valorisation normative pour la non qualité. La figure suivante présente la recherche d'un optimum global.



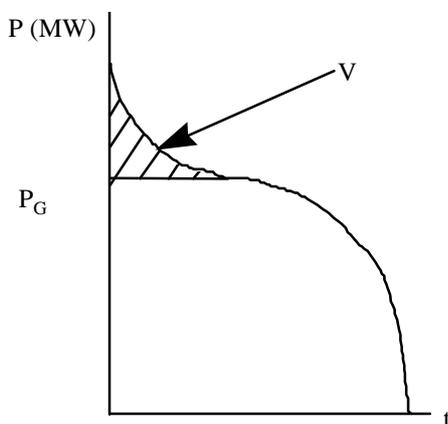
Ce système est employé à EDF, incluant des coûts normatifs pour les coupures longues et brèves, combinés à des probabilités et durées de défaillance pour chaque défaut potentiel. Cette méthode est propice à des extensions assez intuitives qui sont détaillées dans les paragraphes suivants.

Haute tension

Après avoir détecté toutes les contraintes créées durant les situations significatives de N-k éléments de réseau, les

planificateurs évaluent le coût de la non qualité induite par chaque contrainte. Pour chaque cas, le coût de l'énergie non distribuée ou de la puissance coupée doit être multiplié par la probabilité d'occurrence de la situation. On obtient en additionnant tous ces coûts une valorisation annuelle probable de la non qualité.

Pour calculer le volume d'énergie non distribuée sur des réseaux haute tension, les planificateurs n'utilisent pas des courbes de charge, mais des monotones. On obtient l'espérance du temps pendant lequel le niveau de consommation dépasse la capacité nominale du réseau. Cette capacité nominale, associée à une puissance garantie P_G , représente la charge pouvant être alimentée sans rencontrer de contrainte sur le réseau. En admettant que la puissance garantie ne varie pas durant l'année, la détermination de l'énergie non distribuée s'effectue comme indiqué sur la figure suivante.



On a noté V le volume d'énergie non distribuée lors d'une situation de défaillance. Si p est la probabilité d'occurrence de la situation de défaillance considérée, le volume probable annuel d'énergie non distribuée est proportionnel à $p \times V$.

Moyenne tension

La méthode préexistante pour les études de réseau en l'absence de production décentralisée recourt à un seul calcul annuel intégrant toutes les situations de $N-1$ éléments de réseau. Le niveau de consommation est déterminé pour un jour de pointe courant, beaucoup plus probable que le niveau très élevé retenu pour la phase de détermination des contraintes. La présence de production décentralisée peut rendre nécessaire un calcul sur trois périodes de consommation (pointe, demi-saison et été), comme il a été décrit dans la partie précédente. De plus, elle crée des situations de réseau dépendant du fonctionnement ou de l'indisponibilité de chaque groupe de production. Pour chacune de ces situations, $N-1$ lignes et $N-k$ groupes, la probabilité correspondante est calculée et n'est prise en compte que si elle dépasse 10^{-4} .

L'estimation systématique des résultats pour chaque combinaison saison/situation de défaillance pouvant multiplier les temps de calculs dans des proportions considérables, des heuristiques ont été développées afin de limiter leur impact calculatoire. Cependant, un premier couple de calculs, basés sur les deux situations extrêmes de production, donnent une estimation de l'influence de la production décentralisée sur les situations dégradées possibles. Cette étape permet de choisir de ne retenir qu'une première estimation, ou de poursuivre l'exploration de toutes les situations possibles.

COÛTS DE PRODUCTION

Pour des raisons de sécurité et d'exploitation, la production ilotée, c'est-à-dire débitant sur une portion de réseau déconnectée du réseau général, est interdite. De plus, les règles de conduite des réseaux à haute et moyenne tension ne permettent pas de surcharger temporairement les câbles et les lignes. Dans ce contexte, il n'est par conséquent pas possible de démarrer un groupe de production pour diminuer une contrainte après l'apparition d'un défaut, dans la mesure où toute surcharge se traduit par le déclenchement immédiat de l'élément de réseau concerné.

Deux façons d'utiliser la production décentralisée en régime d'incident demeurent possibles. Le mode curatif consiste à démarrer des groupes après l'apparition d'un défaut, pour augmenter la capacité de reprise du système. A l'inverse, le mode préventif suppose un fonctionnement continu des groupes afin d'augmenter la puissance garantie du réseau durant la période où le seul réseau ne suffit pas à la maintenir à un niveau suffisant. Il est clair que le mode curatif n'apporte aucune amélioration quant au nombre de coupures. En revanche, il permet de réduire l'énergie non distribuée après le démarrage des groupes. La solution préventive, qui apporte la même qualité de service qu'un renforcement de réseau, est souvent peu rentable dans la mesure où les coûts de production sont élevés et pas toujours compensés par les gains effectués sur la défaillance, sauf dans des cas de faible durée d'utilisation annuelle.

Dans le mode curatif, la durée annuelle moyenne de fonctionnement est très limitée, de l'ordre de quelques heures. Il est donc possible de négliger la différence de coût entre l'énergie produite localement et celle apportée via les niveaux de tension supérieurs.

En mode préventif, y compris dans le cas de l'utilisation de production décentralisée pour résoudre des contraintes en schéma normal, la durée de fonctionnement peut atteindre des valeurs beaucoup plus élevées, allant jusqu'à plusieurs centaines d'heures. La différence entre les coûts de production respectifs de l'énergie produite localement ou de façon centralisée doit donc être intégrée dans ce cas.

DIMENSIONNEMENT DE LA PRODUCTION

La production décentralisée peut apparaître dans certains cas comme une solution à des limitations de réseau. En réalité, des stratégies basées sur des groupes que l'on peut démarrer en fonction des besoins locaux du réseau (par exemple en cas de perte d'une ligne) peuvent être proposées par l'opérateur d'un réseau comme alternatives à des renforcements de réseau. Dans ce cas, les modes curatif et préventif doivent tous deux être examinés.

La principale question pour une solution à base de production décentralisée est de déterminer la puissance économiquement justifiée pour le site de production. Pour une année donnée, un groupe est intéressant si le bénéfice qu'il permet est supérieur à son annuité d'investissement. En pratique, pour un groupe utilisé en mode curatif, le bénéfice est égal au coût de l'énergie non distribuée évitée, dont les charges fixes annuelles d'exploitation sont déduites. Pour déterminer le nombre optimal de groupes à installer à une année donnée, les unités sont progressivement ajoutées, jusqu'à ce que le premier groupe non justifié économiquement soit atteint. A ce niveau, le processus s'arrête (et le dernier groupe n'est pas ajouté).

Il existe une différence majeure entre les renforcements de réseau et l'installation de production décentralisée. Dans le premier cas, il n'est pas possible de subdiviser finement l'investissement pour l'adapter exactement à la consommation. La construction d'une nouvelle ligne résout ainsi les contraintes pour une durée importante dans le cas général.

Dans le cas de la production décentralisée, il est possible de suivre exactement l'évolution de la consommation car les groupes ont une capacité unitaire réduite. Par conséquent, la contrainte revient rapidement et nécessite de nouveaux investissements. Ceci est décrit dans la figure suivante, où les pointillés représentent les années de mises en services de nouveaux équipements, groupes ou lignes.

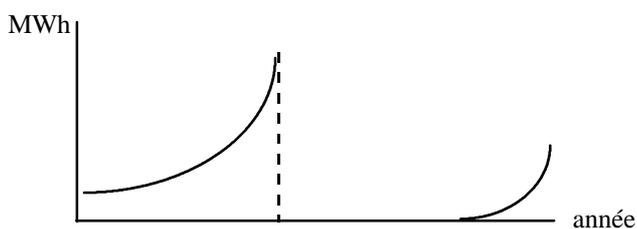


Fig.1. Evolution de l'énergie non distribuée pour un renforcement de réseau

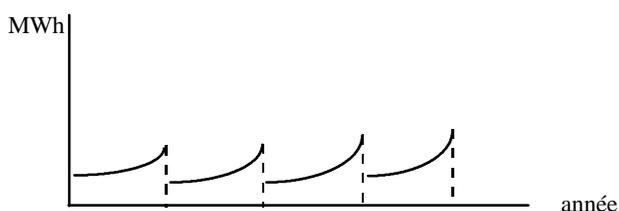


Fig.2. Evolution de l'énergie non distribuée pour une installation de production décentralisée

SYNTHESE ET PROCESSUS DECISIONNEL

En supposant que plusieurs solutions faisables résolvant toutes les contraintes aient été trouvées, il reste à déterminer quelle solution présente le meilleur rapport performance-coût, et quand il convient de la mettre en œuvre.

Pour déterminer la solution optimale, le bilan actualisé de chaque stratégie est calculé. Celui-ci inclut, pour une période d'étude raisonnable (typiquement 20-30 ans), la valeur actualisée de chaque investissement élémentaires, des pertes techniques, défaillance, et coûts d'exploitation. A la dernière année, la valeur d'usage de chaque investissement est déduite du total, afin de prendre en compte la durée de vie résiduelle des ouvrages. La stratégie présentant le bilan actualisé le plus favorable est retenu, à condition que son propre bilan actualisé soit meilleur que celui de la stratégie consistant à ne rien faire.

Enfin, la date optimale d'investissement est déterminée à travers le calcul d'un rapport bénéfice/coût calculé pour la meilleure stratégie et pour chaque année, jusqu'à ce que le résultat obtenu dépasse le taux d'actualisation. L'année où ce phénomène intervient est la date optimale de réalisation des investissement.

APPLICATION A UN CAS REEL

Ce paragraphe présente une mise en œuvre réelle de la méthode décrite plus haut. Ce cas a été traité pas un groupe de travail coordonné par le Ministère français de l'industrie. L'objectif est de comparer le coût d'une solution basée sur un renforcement de réseau avec celui d'une stratégie n'ayant recours qu'à des groupes de production décentralisée pour résoudre les contraintes.

Le réseau étudié est constitué d'un poste haute/moyenne tension alimenté par une antenne. Lorsque la ligne est indisponible, la totalité de la consommation est privée d'alimentation jusqu'à ce que des manoeuvres aient été réalisées sur le réseau moyenne tension. Ces manoeuvres permettent de reprendre une partie de la charge. Deux stratégies principales peuvent être recherchées pour accroître la capacité de reprise du réseau: soit le doublement de la ligne d'alimentation du poste, soit l'ajout de groupes de production en appui du poste. La stratégie "réseau" est dans une certaine mesure indépendante du taux d'accroissement de la charge, car une fois la ligne installée, sa capacité suffit à régler les contraintes jusqu'à la fin de la période d'étude. Il est donc inutile de la renforcer de nouveau. Au contraire, la solution "production" est fortement dépendante du taux d'accroissement: plus la charge augmente, plus il faut installer de groupe, et plus leur vitesse de développement est grande également. Il est donc utile de considérer deux profils d'accroissement des charges, un rapide et un lent.

De plus, les préoccupations environnementales peuvent empêcher la construction d'une ligne aérienne. Dans ce cas, la stratégie réseau s'appuiera sur un câble souterrain, de coût supérieur.

La table suivante présente la synthèse des résultats de l'étude. Plutôt que de présenter les coûts de chaque stratégie, ne présentant qu'un intérêt anecdotique pour d'autres études, la table indique quelle est la solution la plus intéressante en termes de bilan actualisé.

croissance Type de réseau	Elevée	Faible
Aérien	≈	Réseau
Souterrain	Production	≈

Le signe ≈ signifie que les solutions réseau et production sont globalement équivalentes; leurs coûts respectifs sont du même ordre de grandeur et la différence obtenue n'est pas significative au regard de la variabilité des données.

CONCLUSION

Le développement croissant des moyens de production décentralisée est poussé par un contexte global de dérégulation, la préoccupation grandissante pour les questions environnementales, ainsi que la grande adaptabilité de ces équipements, tant en termes de flexibilité que par leur rapidité de construction. Ils sont par conséquent voués à jouer un rôle important dans le développement des systèmes électriques dans les prochaines décennies.

L'assurance de l'optimisation des investissements est un enjeu majeur pour tout opérateur du système électrique. Dans ce but, une estimation globale des coûts doit être effectuée, incluant la production décentralisée dans ce qu'elle peut apporter de bénéfique ou de néfaste pour un réseau. Les méthodes présentées ici visaient à étendre le processus décisionnel existant, assurant une comparaison compatible avec les études précédemment menées. Leur principe peut par conséquent s'appliquer à différents contextes dans lesquels une compatibilité ascendante est recherchée.

Ces méthodes ont été développées pour prendre en compte la production classique de grande et moyenne capacité. Le développement probable des moyens de production de petite puissance, inférieure à 100 kWe, ainsi que des sources d'énergies alternatives comme l'énergie éolienne, appellent de nouveaux développements ainsi que l'extension de ces méthodes aux réseaux basse tension.

Les méthodes décrites ici ont été conçues dans un contexte provisoire en ce qui concerne les relations entre les producteurs, distributeurs et l'opérateur du réseau. L'émergence d'une nouvelle situation nouvelle devrait conduire à une révision des calculs présentés, mais les principes élémentaires d'optimisation globale et équitable demeureront.

REFERENCES

- [1] S.A. Ali, C.M. Zeb, "Government/Industry partnership: a revolutionary approach in global leadership of advanced gas turbines", ASME 96-GT-6.
- [2] B. Meyer, J.P. Desbrosses, H. Chambon, A. Davriu, P. Mallet, P. Peyroche, "Dispersed generation: consequences on power systems planning", Symposium CIGRE - Tours 1997.
- [3] P. Adam, B. Meyer, C. Bellot, A. Davriu, J.L. Meyer, M. Schneider, S. Vitet, "Taking technical-economic performances of dispersed generation units into account in network development", CIGRE 11/37-02, 1998.