



**HAL**  
open science

## Optimisation du choix de la technique d'irradiation des neurocytomes centraux à partir des données de la littérature

G. Virbel, H. Cebula, A. Coca, B. Lhermitte, L. Bauchet, G. Noël

► **To cite this version:**

G. Virbel, H. Cebula, A. Coca, B. Lhermitte, L. Bauchet, et al.. Optimisation du choix de la technique d'irradiation des neurocytomes centraux à partir des données de la littérature. *Cancer/Radiothérapie*, 2020, 24, pp.882 - 891. 10.1016/j.canrad.2020.03.011 . hal-03492733

**HAL Id: hal-03492733**

**<https://hal.science/hal-03492733>**

Submitted on 15 Dec 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

## **Optimisation du choix de la technique d'irradiation des neurocytomes centraux à partir des données de la littérature**

### ***Choice optimization of radiation therapy technique for central neurocytomas from literature data***

Guillaume VIRBEL <sup>a</sup>, Hélène CEBULA <sup>b</sup>, Andres COCA <sup>b</sup>, Benoît LHERMITTE <sup>c</sup>, Luc BAUCHET <sup>d</sup>,  
Georges NOËL <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> ICANS, département de radiothérapie, 17, rue Albert-Calmette, 67200 Strasbourg, France

<sup>b</sup> Département de neurochirurgie, hôpital de Hautepierre, 1, rue Molière, 67200 Strasbourg, France

<sup>c</sup> Service d'anatomopathologie, hôpital de Hautepierre, 1, rue Molière, 67200 Strasbourg, France

<sup>d</sup> Service de neurochirurgie, hôpital Gui-de-Chauliac, CHU de Montpellier, 80, avenue Augustin-Fliche, 34090 Montpellier, France

<sup>e</sup> Inserm, U1051, 80, avenue Augustin-Fliche, 34090 Montpellier, France

\* auteur correspondant ; adresse, [g.noel@icans.eu](mailto:g.noel@icans.eu)

### **Résumé**

Les neurocytomes représentent 0,25 à 0,5 % des tumeurs cérébrales. Il s'agit de tumeurs à différenciation neuronale. C'est une maladie de l'adulte jeune. La chirurgie est le traitement de référence, la place des autres traitements, notamment de la radiothérapie reste mal définie. L'objectif de cette revue de la littérature est de déterminer la place et les modalités de la radiothérapie dans la prise en charge des neurocytomes. Une recherche d'articles au moyen du moteur de recherche PubMed a permis de sélectionner les études les plus pertinentes. En tout, 22 articles ont été sélectionnés selon des critères préétablis pour répondre à la problématique. Il s'agissait d'études exclusivement rétrospectives à l'exception d'une. Les conclusions tirées de cette analyse permettent de définir la radiothérapie comme un traitement de choix chez des patients sélectionnés, lorsque la résection chirurgicale est incomplète ou lorsque la tumeur est atypique.

### **Mots-clés**

neurocytome central ; atypie ; radiothérapie ; stéréotaxie

## Summary

Neurocytomas represent 0,25 to 0,5 of brain tumours. These tumours have neuronal differentiation. It's a young adult disease. The main treatment is neurosurgery. The place of other therapies is still unclear, noticeably with regards to radiotherapy. This review aim is to determine the place and the modalities of radiotherapy in the management of neurocytomas. A literature search using PubMed allowed to select the most relevant studies. Finally, 22 studies were selected according to pre-established criteria to answer the problem. All studies were retrospective studies except one. The analysis conclusion defined radiotherapy as a treatment of choice in selected patients, when surgical resection was incomplete or when tumour was atypical.

## Keywords

central neurocytoma; atypical; radiotherapy; stereotactic radiotherapy

## 1. Introduction

Les neurocytomes centraux sont des tumeurs rares du système nerveux central. Ces tumeurs à différenciation neuronale ont été décrites pour la première fois, en 1982, par Hassoun et al. [1]. Ils représentent 0,25 à 0,5% des tumeurs cérébrales [2]. Aux Etats-Unis, l'incidence des neurocytomes centraux est estimée à 0,032 pour 100 000 habitants par an [3]. En France, les neurocytomes confirmés histologiquement ont une incidence de 0,042 pour 100 000 habitants par an (soit 0,27% de l'ensemble des tumeurs primitives du système nerveux central). Le sex ratio (H/F) est de 0,93 et l'âge médian au moment du diagnostic est de 31 ans [4]. Ces tumeurs se développent en priorité dans le septum pellucidum à proximité des ventricules latéraux et obstruent souvent le foramen de Monro [2]. Certaines formes extraventriculaires se développent au dépend d'autres structures parenchymateuses cérébrales. Cette tumeur cérébrale considérée de grade II par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), selon la classification de Louis et al. [5].

La chirurgie est le traitement de référence des patients atteints de neurocytomes centraux, à condition que l'exérèse complète de la lésion soit réalisable [6]. Cette exérèse complète n'est possible que dans moins de 50% des cas [7]. Dans le cas d'une exérèse incomplète, le contrôle local est plus difficile à obtenir [8]. La radiothérapie adjuvante est proposée pour augmenter le taux de contrôle local. Toutefois, son utilité reste controversée.

Une revue de la littérature sur la prise en charge des neurocytomes a été publiée en 2014. Celle-ci a analysé l'ensemble des traitements potentiellement efficace dans cette pathologie [9]. La présente publication focalise l'analyse sur le rôle, la place et l'efficacité, spécifiquement de la radiothérapie, quelle qu'en soit les modalités de délivrance. Par ailleurs, cette revue de la littérature a été générée selon la méthode Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA)

[10], dans le but de déterminer la place de la radiothérapie dans la prise en charge des neurocytomes centraux.

## 2. Méthode

Les articles correspondants aux termes « *central neurocytoma* » et « *radiotherapy* » ont été recherchés dans la base de données Medline, au moyen du moteur de recherche PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>).

Les études rapportant des séries de cas publiées en anglais ou en français ont été incluses. Ces études ne devaient rapporter que des cas de neurocytomes centraux et devaient inclure l'irradiation comme une des modalités de traitement. Aucune date limite de publication n'a été instituée pour le début de la recherche. Nous avons clôturé celle-ci au 30/09/2019. Par ailleurs, seules les séries de cas comportant au moins six patients ont été retenues pour l'analyse.

Dans chaque étude, nous avons récupéré le nombre de patients traités, les données démographiques, les symptômes cliniques, la qualité de l'exérèse lorsqu'elle avait été réalisée, le nombre de récurrences, le nombre de patients irradiés, la technique de radiothérapie utilisée, la dose administrée, le temps de suivi ainsi que les taux de contrôle local et de survie globale ou sans progression. Nous avons recensé dans chaque article sélectionné la présence ou l'absence des données relatives à ces différents critères (Tableaux 1 et 2).

La recherche bibliographique n'a pas permis de retrouver d'essai randomisé prospectif évaluant les traitements du neurocytome central. Finalement, 160 articles ont été récupérés. Parmi eux, 109 articles ont d'emblée été exclus car ne répondant pas aux critères d'inclusion précédemment décrits. En tout, nous avons conservé 22 études. Parmi elles, 21 étaient rétrospectives et une étude était prospective bien que ne comportant que cinq patients (figure 1). Parmi ces études, neuf portaient exclusivement sur la radiothérapie en conditions stéréotaxiques.

## 3. Résultats

### 3.1. Population de patients

Les 22 études sélectionnées rapportaient les données de 564 patients. Il y avait 302 hommes et 262 femmes. Les âges médians ou moyens variaient de 15 à 32,5 ans. L'indice fonctionnel était variable. Lorsqu'il était indiqué, l'indice de Karnofsky des patients avant le traitement était compris entre 30 et 100%. Les diamètres (minimum et maximum) des tumeurs variaient de 8 mm à 86 mm. Les ventricules latéraux étaient les sièges les plus fréquents des neurocytomes. Parmi les patients, 513 ont bénéficié d'une exérèse chirurgicale. Parmi l'ensemble des patients, 392 ont eu une irradiation. Le suivi moyen allait de 2,6 à 10 ans après le diagnostic initial. Le taux de contrôle local variait de 54% à 100%. Le taux de survie globale à 5 ans était compris entre 70 et 100%. Dans la plupart des études, les

patients ont été pris en charge en fonction de groupes à risque. Ces groupes ont été définis par les auteurs en fonction de leur expérience clinique et de données de la littérature [11].

### **3.2. Facteurs pronostiques**

#### *3.2.1. Facteurs démographiques et tumoraux*

L'âge, le genre, l'état général des patients avant le traitement, le diamètre de la tumeur et sa localisation n'ont pas été retrouvés dans les articles sélectionnés comme ayant un impact sur le taux de contrôle local des neurocytome centraux [12,13].

#### *3.2.2. Résection totale*

Dans l'étude de Schild et al., le taux contrôle local était significativement meilleur chez les patients qui avaient bénéficié d'une résection totale que chez ceux qui n'avaient eu qu'une exérèse partielle. Les taux de contrôle local à 5 ans étaient respectivement de 100% et 70 %. Bien que ce critère apparût comme le premier facteur pronostique, le bénéfice ne s'est pas traduit en termes de survie globale à 5 ans ( $p = 0,44$ ) [14].

A contrario, dans l'étude de Leenstra et al., la qualité de l'exérèse n'apparaissait pas comme un facteur prédictif de récurrence locale ( $p = 0,27$ ). Les auteurs ont expliqué ce résultat par le fait qu'un tiers des tumeurs qui ont eu une résection totale ont malgré tout récidivé [15].

Dans l'étude de Hallock et al. portant sur 19 patients, le taux de contrôle local brut des tumeurs complètement extirpées était de 90%, comparativement à 44% pour celles qui avaient été opérées partiellement. Par ailleurs, la médiane de rechute était plus longue en cas d'exérèse complète qu'après exérèse incomplète, respectivement 89,8 mois et 27,1 mois [16].

Kim et al. ont décrit la prise en charge de 58 malades : 50% des patients ont bénéficié d'une chirurgie d'exérèse complète. Soixante-quinze pourcents des tumeurs opérées incomplètement et non irradiées ont récidivé localement comparativement à 9% de celles ayant eu une chirurgie complète [17].

Une étude chinoise, portant sur 63 patients qui ont bénéficié d'une radiothérapie adjuvante quelle que soit l'étendue de la chirurgie, n'a pas mis en évidence de différence significative ni en termes de survie sans progression à 5 ans ( $p = 0,689$ ) ni en termes de survie globale à 5 ans ( $p = 0,787$ ) entre les groupes de patients qui ont bénéficié d'une résection complète, subtotale ou partielle de la tumeur. Toutefois, seuls trois tumeurs avaient récidivé [12].

Wang et al. ont montré que les tumeurs récidivaient moins lorsqu'elles avaient eu une résection complète (8,8% contre 34,5%  $p = 0,013$ ). Cependant, il n'y avait pas d'impact sur la survie globale de cette chirurgie complète [18].

### 3.2.3. Facteurs anatomopathologiques et biologiques

Leenstra et al. ont étudié l'impact des caractéristiques histopathologiques. Les facteurs d'atypie intégraient l'indice mitotique, la prolifération endothéliale, la présence d'une nécrose, le score MIB-1 et la codéletion 1p19q. Les tumeurs typiques étaient celles qui ne présentaient aucune des caractéristiques qui les auraient classées dans la catégorie atypique. Les mêmes auteurs ont décrit une différence significative de survie globale chez les patients atteints d'une tumeur avec une activité de moins de trois mitoses sur dix, comparativement à ceux qui avaient une tumeur avec une activité mitotique plus élevée (89% contre 57%,  $p = 0,040$ ). Le taux de survie globale à 10 ans était de 63% pour ces neurocytomes, comparativement à 90% pour les neurocytomes dit typiques ( $p = 0,055$ ) [15]. Dans une série de 19 patients, Hallock et al. ont rapporté que la présence d'atypie était associée à un plus haut risque de récurrence. Après une chirurgie, le taux de récurrence était de 15% en l'absence d'atypie et 68% en présence d'atypie. Les taux de contrôle local étaient de 83% en l'absence d'atypie comparativement à 42% en cas d'atypie [16].

Lenzi et al. ont rapporté que la présence d'atypie était un facteur de pronostic défavorable de la survie globale ( $p = 0,02$ ). Un score MIB-1 supérieur à 4% était corrélé avec une issue défavorable (décès ou trouble neurologique). La seule tumeur qui a récidivé après une exérèse chirurgicale complète avait un score MIB-1 de plus de 4% [11]. Dans l'étude d'Imber et al, le taux de contrôle local à 2 ans était de 48% lorsque le MIB-1 était de plus de 4% comparativement à 90% dans les cas d'un MIB-1 de moins de 4% (*hazard ratio* [HR] : 5,4 ; intervalle de confiance [IC] : 2,2–27,8 ;  $p = 0,0026$ ) [13].

### 3.2.4. Radiothérapie adjuvante

Dans la série de Schild et al., les patients qui ont reçu une radiothérapie adjuvante, quelle que soit la qualité de la résection, avaient un taux de contrôle local supérieur à celui des patients qui n'avaient pas été irradiés, respectivement, 100% et 63% ( $p = 0,02$ ). Les patients qui avaient eu une exérèse incomplète bénéficiaient plus souvent de la radiothérapie adjuvante, le taux de contrôle local à 5 ans atteignait 100% dans ce groupe alors que celui des patients non irradiés était de 50% ( $p = 0,02$ ) [14]. Alors que Leenstra et al. ont rapporté un taux de contrôle local à 5 ans de 100% après irradiation adjuvante, les mêmes auteurs ont souligné que cette irradiation avait un intérêt plus important chez les patients chez qui l'exérèse tumorale n'était pas complète [15]. L'intérêt de la radiothérapie adjuvante, en termes d'amélioration du taux de contrôle local ou de celui de survie sans progression, a aussi été suggéré dans plusieurs autres séries [13,19-21]. La plus récente série publiée a confirmé ces résultats de la radiothérapie en termes de contrôle local (HR: 6,497 ; IC 95% : 1,082-13,35 ;  $p = 0,039$ ) [18].

Par ailleurs, certains auteurs ont montré qu'en l'absence d'irradiation adjuvante, et ce même si la tumeur ne présentait pas d'atypie, que le risque de récurrence en cas d'exérèse incomplète pouvait atteindre 75% [11].

En somme, la radiothérapie adjuvante peut être utilisée dans les neurocytomes centraux, principalement dans le groupe de patients qui ont eu une exérèse incomplète, et a fortiori si la tumeur présente des atypies. Les patients dont la tumeur a pu être extirpée complètement mais dont l'anatomopathologie révèle une prolifération cellulaire pourraient aussi bénéficier de traitement adjuvant.

### **3.3. Radiothérapie classique**

Afin de mieux décrire l'irradiation utilisée, une analyse des données de la radiothérapie a été entreprise. Douze articles traitaient de la radiothérapie classique [11-20,22,23] (Tableau 3). En tout, 183 irradiations classiques ont été délivrées dans la prise en charge des patients inclus dans ces études. La radiothérapie adjuvante y a été utilisée pour un total de 159 patients. Treize patients ont reçu la radiothérapie comme traitement exclusif et 12 ont été irradiés pour une tumeur récidivante.

#### *3.3.1. Dose*

Dans les études retenues, la moyenne des doses de radiothérapie externe variait de 50 à 56 Gy. Une revue de la littérature a montré qu'en cas de résection incomplète, le groupe de patient recevant une dose comprise entre 40 et 53,6 Gy avait un taux de contrôle local à 10 ans moins élevé que le groupe qui avait une dose comprise entre 54 Gy et 62,2 Gy, respectivement 65% et 89 % ( $p = 0,0066$ ) [33]. En 2006, les mêmes auteurs ont montré qu'une désescalade de dose à 50 Gy était possible à condition que le neurocytome soit typique. En effet, il n'y avait pas de différence significative en termes de survie globale et de contrôle local à 10 ans entre le groupe qui a reçu une dose de 50 Gy et le groupe qui a reçu une dose supérieure à 50 Gy [34]. Une dose comprise entre 50 et 54 Gy semblait donc approprié. Rades et al. ont recommandé une dose de 56 à 60 Gy pour les tumeurs atypiques. En effet, lorsque le neurocytome était atypique, les doses supérieures à 54 Gy étaient associées à un taux de contrôle local à 5 ans supérieur à celui obtenu avec des doses inférieures à 54 Gy, respectivement 79% et 48% ( $p = 0,05$ ). Les mêmes constatations ont été observées avec le taux de survie à 5 ans, respectivement, 79% et 58% ( $p = 0,18$ ) [35].

#### *3.3.2. Volumes*

Chen et al. ont décrit un volume cible anatomoclinique avec des marges de 10 mm autour du volume tumoral macroscopique. Une marge de 3 mm supplémentaire était ajoutée pour définir le volume cible prévisionnel [12]. Mallick et al. ont indiqué qu'aucun volume cible anatomoclinique n'avait été défini pour les neurocytomes typiques. En revanche, il était défini par l'ensemble du lit postopératoire pour les neurocytomes atypiques [23]. Rades et al. ont proposé une marge de 20 mm autour du volume tumoral macroscopique pour définir le volume cible anatomoclinique dans le cas des neurocytomes centraux ayant bénéficié d'une résection incomplète [24].

### 3.3.3. *Contrôle local et survie globale*

Dans l'ensemble des études, seuls 11 patients ont été atteints d'une récurrence après leur traitement initial comprenant une radiothérapie fractionnée. La récurrence est survenue en moyenne à 53 mois. Le délai de survenue de récurrence était indisponible pour deux études, ce qui correspondait à deux patients [18,23]. Le taux de survie globale à 5 ans variait de 88% à 100% dans les séries dans lesquelles l'information était disponible [12-15,17,18,22]. A noter que le suivi moyen des patients variait de 31 [20] à 120 mois [15].

### 3.3.4. *Complications*

Chen et al. ont rapporté que 38% des patients avaient souffert d'une neurotoxicité tardive due à la radiothérapie. Bien que les données sur le sujet soient insuffisantes pour en tirer une conclusion, les auteurs n'ont pas trouvé de différence en termes de dose moyenne ni de dose maximale entre ces patients et les autres [12]. Hallock et al. n'ont trouvé aucune toxicité de grade 3 ou 4 chez les patients irradiés [16]. Kim et al. ont rapporté qu'un seul patient sur les huit irradiés a eu besoin d'assistance dans les activités de la vie quotidienne en raison de complications dues à la radiothérapie. Cent-treize mois après la radiothérapie, l'IRM de ce même patient montrait une démyélinisation diffuse ainsi qu'une atrophie corticale frontale droite [19]. Une autre étude coréenne, portant sur sept patients irradiés, a rapporté le décès d'un patient attribuable à une nécrose cérébrale radio-induite, deux cas de dégénérescence de la substance blanche et une tumeur cérébrale supposée induites par les rayonnements. Tous les patients qui ont souffert de ces complications ont eu l'irradiation avant 1992, ils avaient reçu une dose comprise entre 50,4 et 55,8 Gy [17].

## 3.4. *Radiothérapie en conditions stéréotaxiques*

De nombreuses études ont concerné spécifiquement la radiothérapie en conditions stéréotaxiques. La recherche a permis de conserver dix articles [17,21,25-32] (Tableau 4). Dans ces séries, 179 patients ont reçu 184 sessions de radiothérapie en conditions stéréotaxiques. Il y avait 96 radiothérapies en conditions stéréotaxiques adjuvantes. La totalité de ces irradiations adjuvantes complétait une chirurgie dont l'exérèse était incomplète. Trente-et-un patients ont eu une radiothérapie en conditions stéréotaxiques exclusive de la tumeur. Vingt-huit patients ont reçu une radiothérapie en conditions stéréotaxiques pour une lésion récidivante. Deux des neuf études ne précisaient pas les traitements précédant la radiothérapie en conditions stéréotaxiques, ce qui correspondait à 28 radiothérapie en conditions stéréotaxiques [24,28]. Le GammaKnife® été utilisé pour 182 sessions et un accélérateur linéaire pour les deux autres [24,26].

### 3.4.1. *Dose*

La dose moyenne prescrite pour les patients irradiés par GammaKnife® dans les dix séries répertoriées variait de 12,1 à 16 Gy ; la prescription était faite sur l'isodose 50% couvrant le volume



cible délimité. La dose prescrite pour les patients irradiés sous accélérateur linéaire variait de 17,5 à l'isodose 70% à 25 Gy mais l'isodose couvrant le volume cible n'était pas définie [24,26]. Matsunaga et al. n'ont retrouvé qu'une récurrence sur sept patients, ce patient avait reçu la dose marginale la plus faible de 12,1 Gy [26].

#### *3.4.2. Volume tumoral*

Dans les différentes séries de patients qui ont reçu une radiothérapie en conditions stéréotaxiques, le volume tumoral moyen irradié variait de 3,9 mL à 19,6 mL avec des tumeurs dont le plus petit volume était de 0,04 mL et le plus important de 68,9 mL [28,31]. Toutefois, les auteurs n'ont jamais précisé comment était défini le volume irradié, en particulier les marges utilisées.

#### *3.4.3. Résultat des radiothérapies en conditions stéréotaxiques pour les tumeurs récurrentes ou résiduelles*

Kim et al. ont rapporté une réduction initiale de la masse tumorale traitée chez les 13 patients qui ont eu une radiothérapie en conditions stéréotaxiques. Toutefois, deux des sept patients irradiés pour un résidu après chirurgie ont été atteints de récurrence. Les auteurs ont expliqué que la récurrence était survenue en zone non irradiée, probablement car la délimitation avait été rendue difficile du fait des remaniements postchirurgicaux [25]. Chen et al. ont précisé que la réduction moyenne de volume était de 69% chez l'ensemble des 13 patients irradiés en conditions stéréotaxiques, alors que Yamanaka et al. ont mesuré une réduction moyenne de 74% [27,31]. Dans la série de Yen et al., aucune nouvelle récurrence chez les patients irradiés par GammaKnife® pour un neurocytome central récurrent n'a été rapportée [11].

Ces résultats satisfaisants ont été confirmés dans une série de 42 patients parmi lesquels seulement quatre tumeurs ont récidivé, dont deux à distance du volume initial [29]. Ces résultats ont concerné autant les patients irradiés d'emblée pour un reliquat que ceux en situation de récurrence [24,30,31]. D'autres auteurs ont souligné l'efficacité et le faible taux de récurrence chez les patients non opérés et irradiés en conditions stéréotaxiques exclusivement [24,25,27].

#### *3.4.4. Contrôle local*

En tout, les auteurs ont rapporté 19 récurrences chez les patients traités par irradiation en conditions stéréotaxiques. Les taux de contrôle local variaient de 85% à 100% dans les séries dans lesquelles les données étaient disponibles [21,24,26-32].

Une revue de la littérature comparait le traitement fractionné et celui en conditions stéréotaxiques. Les taux de contrôle local n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes. Il était de 93% pour les patients ayant reçu une radiothérapie en conditions stéréotaxiques et de 88% pour ceux ayant reçu une radiothérapie fractionnée ( $p = 0,40$ ) [36].

### 3.4.5. Complications

Aucune complication n'a été décrite dans cinq des neuf études portant exclusivement sur la radiothérapie en conditions stéréotaxiques [21,25,26,30]. Karlsson et al. ont rapporté un cas d'œdème perilésionnel symptomatique chez un patient sur 42 traités [29]. Yamanaka et al. ont rapporté un cas d'hémorragie intralésionnelle et un cas de troubles persistants de la mémoire, 52 mois après le traitement [31].

Dans l'étude citée précédemment et comparant la radiothérapie classique à la radiothérapie en conditions stéréotaxiques, les taux de complications considérés comme sévères par les auteurs étaient plus fréquentes après irradiation fractionnée (7,5% contre 5,5% ;  $p = 0,001$ ) [36]. Nakamura et al. ont décrit deux patients ayant souffert de complications dues aux rayonnements. Il s'agissait de nécrose asymptomatique mais remnographique [32].

## 4. Discussion

Le traitement adjuvant des neurocytomes reste largement non démontré. Toutefois, l'augmentation de la fiabilité et de la précision de la radiothérapie a conduit à la proposer sous certaines conditions variant selon les équipes. L'objectif de cette analyse était de préciser l'intérêt de l'irradiation et de définir les facteurs qui conduiraient à la préconiser.

La chirurgie du neurocytome central est le traitement de référence permettant d'atteindre un taux de contrôle local à 5 ans de 85% lorsque la résection est complète [6]. Cependant, la résection complète n'est obtenue que dans moins de 50 % [7,37]. Dans une étude germanique, le taux de contrôle local était significativement réduit quand la résection était incomplète (45% contre 77% ;  $p = 0,0001$ ) [38]. Par ailleurs, certaines séries chirurgicales ont souligné les risques de séquelles neurologiques de ces interventions [39].

La place de la radiothérapie peut donc se discuter à différents niveaux de la prise en charge, dont d'emblée après une résection incomplète. Rades et al. ont montré que l'irradiation adjuvante permettait aux patients opérés incomplètement d'obtenir des taux de contrôle local et de survie globale à 5 ans comparables à ceux de patients opérés complètement non irradiés [7].

Une autre étude a recueilli des données de 121 patients atteints d'un neurocytome incomplètement réséqué. Le taux de contrôle local était significativement meilleur lorsque les patients bénéficiaient d'une radiothérapie adjuvante que lorsqu'ils n'en n'avaient pas reçu. En effet, en l'absence d'irradiation, après une radiothérapie fractionnée et après une radiothérapie en condition stéréotaxiques, les taux étaient, respectivement de 51%, 87% ( $p = 0,001$ ), et 100% ( $p = 0,004$ ) [40]. Toutefois, tous les patients qui ont eu une résection incomplète ne bénéficient peut-être pas de l'irradiation de la même façon. Ceux dont la tumeur avait un score MIB-1 supérieur à 2%, verraient leur taux de rechute décroître plus significativement que ceux dont ce score serait inférieur à 2% [41].

L'irradiation adjuvante à une chirurgie complète ne semblait pas améliorer le pronostic [25], cela quel que soit le score MIB-1 de la tumeur [42]. Au contraire, une irradiation lorsque la tumeur récidive après une chirurgie initialement considérée comme complète semblerait se traduire par un pronostic plus favorable [11,12,14-16,18,19,25,26,29-31].

L'utilisation de la radiothérapie en condition stéréotaxiques a produit des résultats très satisfaisants [21,27-35]. Une revue de la littérature a montré que ce traitement permettait d'obtenir un taux de contrôle local de 92,2% (IC 95% : 86,5%-95,7%) avec des différences significatives entre les études ( $p = 0,001$ ). La radiothérapie en condition stéréotaxiques, pourrait être une alternative pertinente à la chirurgie surtout lorsque cette dernière paraît trop risquée ou que la résection totale semble difficile à obtenir [43].

Certains articles dans lesquels les patients ont eu une chirurgie sans radiothérapie ont montré que le taux de rechute local était corrélé au volume tumoral [44]. Intuitivement, il pourrait s'agir d'une corrélation indirecte, le volume tumoral pouvant être liée aux possibilités d'exérèse chirurgicale macroscopiquement complète. Cette supposition est corroborée au fait que, dans la présente étude ce facteur volume n'a été décrit dans aucun article. Dans les articles étudiant la radiothérapie, quand celle-ci complétait une exérèse incomplète, des taux de contrôle local comparables à ceux obtenus après une exérèse macroscopiquement complète ont été obtenus [6]. Toutefois, nous n'avons pas trouvé de référence reliant le volume tumoral et la qualité de l'exérèse.

De la même manière, Dutta et al. ont trouvé que le score de l'OMS était associé indépendamment à la survie globale ( $p < 0,001$ ) [2].

Les volumes à irradier restent à définir. Une marge de 10 mm autour du volume macroscopiquement visible semble une alternative acceptable. L'inclusion du lit opératoire sans marge complète logiquement le volume anatomoclinique

Les doses d'irradiation ne sont pas définies mais cette revue laisse supposer qu'en fractionnement conventionnel, une dose comprise entre 50 et 54 Gy est conseillée [33,34] ; en cas d'atypie elle pourrait atteindre 60 Gy [35]. En radiothérapie en condition stéréotaxiques, nous pouvons proposer a minima une dose de 12 Gy en périphérie du volume cible. En effet, Chen et al. n'ont recensé aucune récidive sur les 14 patients irradiés et la dose moyenne à la périphérie était en moyenne de 12,1 Gy [27]. Toutefois, Nakamura et al. ont également obtenu 100% de contrôle local dans leur série de dix patients. La dose moyenne à la périphérie était de 15,25 Gy [32]. Cette dose paraîtrait optimale, notamment compte tenu de la rechute décrite par Matsunaga et al. [26].

La question se pose de la neurotoxicité de la radiothérapie externe chez ces patients. En effet, aucune étude n'a prouvé que la radiothérapie permettait une amélioration du taux de survie globale chez les patients atteints de neurocytome central. Ces patients conservent alors une espérance de vie longue

[2]. La principale complication à long terme induite par la radiothérapie cérébrale est la dysfonction cognitive liée, entre autre, à la leucoencéphalopathie [45]. Elle se traduit cliniquement par une altération des fonctions exécutives, de l'attention et du jugement analogique [46]. Il existe également des troubles de la mémoire liés à l'irradiation. Cette dernière complication mérite une attention particulière dans le suivi des patients atteint de neurocytomes centraux puisque cette tumeur se situe dans la grande majorité des cas à proximité des structures constituant le circuit de Papez [2]. Les troubles mnésiques pourraient notamment être expliqués par une atteinte du fornix [47]. Une évaluation multidisciplinaire serait nécessaire afin de dépister précocement les effets secondaires tardifs de la radiothérapie sur le système nerveux central. C'est un des objectifs de l'étude EpiBrainRad dont les résultats sont en cours d'analyse [48].

A la lumière des informations de la littérature recueillies dans cette revue, il est proposé un arbre d'aide à la décision relative à la prise en charge des neurocytomes centraux, les différents choix proposés cumulent et finalement rejoignent certaines propositions déjà faites dans des publications antérieures [9,30] (figure 2).

## **5. Conclusion**

La radiothérapie semble avoir sa place dans la stratégie de prise en charge des neurocytomes centraux. Elle serait particulièrement indiquée lorsque la résection chirurgicale est incomplète a fortiori lorsque la tumeur présente un score de MIB-1 de plus de 2%. Lorsque la tumeur récidive, l'irradiation est une option de choix pour éviter les complications liées à une ré-intervention chirurgicale. La radiothérapie en condition stéréotaxique semble avoir les mêmes indications et pourrait même se substituer à la chirurgie lorsque cette dernière n'est pas réalisable dans les meilleures conditions.

## **Conflits d'intérêts**

Aucun

## **Contribution des auteurs**

GV : conception de l'étude, rédaction du manuscrit ; HC, AC, BL, LB : validation ; GN : conception de l'étude, validation, rédaction du manuscrit, supervision.

## **Références**

- [1] Hassoun J, Gambarelli D, Grisoli F, Pellet W, Salamon G, Pellissier JF, et al. Central neurocytoma. An electron-microscopic study of two cases. *Acta Neuropathol* 1982;56:151–6. <https://doi.org/10.1007/bf00690587>.
- [2] Dutta SW, Kaleem TA, Muller DA, Peterson J, Harrell AC, Quinones-Hinojosa A, et al. Central neurocytoma: Clinical characteristics, patterns of care, and survival. *J Clin Neurosci* 2018;53:106–11. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2018.04.015>.

- [3] Tish S, Habboub G, Jones J, Ostrom QT, Kruchko C, Barnholtz-Sloan JS, et al. The epidemiology of central and extraventricular neurocytoma in the United States between 2006 and 2014. *J Neurooncol* 2019;143:123–7. <https://doi.org/10.1007/s11060-019-03144-9>.
- [4] Darlix A, Zouaoui S, Rigau V, Bessaoud F, Figarella-Branger D, Mathieu-Daudé H, et al. Epidemiology for primary brain tumors: a nationwide population-based study. *J Neurooncol* 2017;131:525–46. <https://doi.org/10.1007/s11060-016-2318-3>.
- [5] Louis DN, Ohgaki H, Wiestler OD, Cavenee WK, Burger PC, Jouvet A, et al. The 2007 WHO classification of tumours of the central nervous system. *Acta Neuropathol* 2007;114(2):97-109. <https://doi.org/10.1007/s00401-007-0243-4>.
- [6] Rades D, Fehlaue F. Treatment options for central neurocytoma. *Neurology* 2002;59:1268–70. <https://doi.org/10.1212/wnl.59.8.1268>.
- [7] Rades D, Fehlaue F, Schild S, Lamszus K, Alberti W. [Treatment for central neurocytoma: a meta-analysis based on the data of 358 patients]. *Strahlenther Onkol* 2003;179:213–8. <https://doi.org/10.1007/s00066-003-1061-9>.
- [8] Rades D, Schild SE, Fehlaue F. Prognostic value of the MIB-1 labeling index for central neurocytomas. *Neurology* 2004;62:987–9. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000115392.21898.e3>.
- [9] Canova C-H, Riet F-G, Idbah A, Mokhtari K, Mazeron J-J, Feuvret L. Place de la radiothérapie dans les neurocytomes centraux et revue de la littérature. *Cancer Radiother* 2014;18:222–8; quiz 245, 248. <https://doi.org/10.1016/j.canrad.2013.12.006>.
- [10] Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ* 2009;339:b2700. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>.
- [11] Lenzi J, Salvati M, Raco A, Frati A, Piccirilli M, Delfini R. Central neurocytoma: a novel appraisal of a polymorphic pathology. Our experience and a review of the literature. *Neurosurg Rev* 2006;29:286–92. <https://doi.org/10.1007/s10143-006-0024-x>.
- [12] Chen Y-D, Li W-B, Feng J, Qiu X-G. Long-term outcomes of adjuvant radiotherapy after surgical resection of central neurocytoma. *Radiat Oncol* 2014;9:242. <https://doi.org/10.1186/s13014-014-0242-2>.

- [13] Imber BS, Braunstein SE, Wu FY, Nabavizadeh N, Boehling N, Weinberg VK, et al. Clinical outcome and prognostic factors for central neurocytoma: twenty year institutional experience. *J Neurooncol* 2016;126:193–200. <https://doi.org/10.1007/s11060-015-1959-y>.
- [14] Schild SE, Scheithauer BW, Haddock MG, Schiff D, Burger PC, Wong WW, et al. Central neurocytomas. *Cancer* 1997;79:790–5. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0142\(19970215\)79:4<790::aid-cnrc16>3.0.co;2-v](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0142(19970215)79:4<790::aid-cnrc16>3.0.co;2-v).
- [15] Leenstra JL, Rodriguez FJ, Frechette CM, Giannini C, Stafford SL, Pollock BE, et al. Central neurocytoma: management recommendations based on a 35-year experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007;67:1145–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2006.10.018>.
- [16] Hallock A, Hamilton B, Ang LC, Tay KY, Meygesi JF, Fisher BJ, et al. Neurocytomas: long-term experience of a single institution. *Neuro-Oncol* 2011;13:943–9. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nor074>.
- [17] Kim JW, Kim DG, Kim IK, Kim YH, Choi SH, Han JH, et al. Central neurocytoma: long-term outcomes of multimodal treatments and management strategies based on 30 years' experience in a single institute. *Neurosurgery* 2013;72:407–13; discussion 413-414. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3182804662>.
- [18] Wang M, Zhou P, Zhang S, Liu X, Lv L, Wang Z, et al. Clinical features, treatment, and long-term outcomes of central neurocytoma: a 20-year experience at a single center. *World neurosurg* 2018;109:e59-e66. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.09.103>.
- [19] Kim DG, Paek SH, Kim IH, Chi JG, Jung HW, Han DH, et al. Central neurocytoma: the role of radiation therapy and long-term outcome. *Cancer* 1997;79:1995–2002. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0142\(19970515\)79:10<1995::aid-cnrc22>3.0.co;2-p](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0142(19970515)79:10<1995::aid-cnrc22>3.0.co;2-p).
- [20] Sharma MC, Sarkar C, Karak AK, Gaikwad S, Mahapatra AK, Mehta VS. Intraventricular neurocytoma: a clinicopathological study of 20 cases with review of the literature. *J Clin Neurosci* 1999;6:319–23. <https://doi.org/10.1054/jocn.1998.0061>.
- [21] Kim C-Y, Paek SH, Jeong SS, Chung H-T, Han JH, Park C-K, et al. Gamma knife radiosurgery for central neurocytoma: primary and secondary treatment. *Cancer* 2007;110:2276–84. <https://doi.org/10.1002/cncr.23036>.
- [22] Kulkarni V, Rajshekhar V, Haran RP, Chandi SM. Long-term outcome in patients with central neurocytoma following stereotactic biopsy and radiation therapy. *Br J Neurosurg* 2002;16:126–32. <https://doi.org/10.1080/02688690220131714>.

- [23] Mallick S, Roy S, Das S, Joshi NP, Roshan V, Gandhi AK, et al. Role of adjuvant radiation in the management of central neurocytoma: Experience from a tertiary cancer care center of India. *Indian J Cancer* 2015;52:590–7. <https://doi.org/10.4103/0019-509X.178378>.
- [24] Kim JW, Kim DG, Chung H-T, Choi SH, Han JH, Park C-K, et al. Radiosurgery for central neurocytoma: long-term outcome and failure pattern. *J Neurooncol* 2013;115:505–11. <https://doi.org/10.1007/s11060-013-1253-9>.
- [25] Yen CP, Sheehan J, Patterson G, Steiner L. Gamma knife surgery for neurocytoma. *J Neurosurg* 2007;107:7–12. <https://doi.org/10.3171/JNS-07/07/0007>.
- [26] Matsunaga S, Shuto T, Suenaga J, Inomori S, Fujino H. Gamma knife radiosurgery for central neurocytomas. *Neurol Med Chir* 2010;50:107–12; discussion 112–113. <https://doi.org/10.2176/nmc.50.107>.
- [27] Chen M-C, Pan DH-C, Chung W-Y, Liu K-D, Yen Y-S, Chen M-T, et al. Gamma knife radiosurgery for central neurocytoma: retrospective analysis of fourteen cases with a median follow-up period of sixty-five months. *Stereotact Funct Neurosurg* 2011;89:185–93. <https://doi.org/10.1159/000326780>.
- [28] Genc A, Bozkurt SU, Karabagli P, Seker A, Bayri Y, Konya D, et al. Gamma knife radiosurgery for cranial neurocytomas. *J Neurooncol* 2011;105:647–57. <https://doi.org/10.1007/s11060-011-0635-0>.
- [29] Karlsson B, Guo W-Y, Kejia T, Dinesh N, Pan DH-C, Jokura H, et al. Gamma Knife surgery for central neurocytomas. *J Neurosurg* 2012;117 Suppl:96–101. <https://doi.org/10.3171/2012.6.GKS12214>.
- [30] Monaco EA, Niranjana A, Lunsford LD. The management of central neurocytoma: radiosurgery. *Neurosurg Clin N Am* 2015;26:37–44. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2014.09.008>.
- [31] Yamanaka K, Iwai Y, Shuto T, Kida Y, Sato M, Hayashi M, et al. Treatment results of gamma knife radiosurgery for central neurocytoma: report of a Japanese multi-institutional cooperative study. *World Neurosurg* 2016;90:300–5. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.03.016>.
- [32] Nakamura A, Kano H, Niranjana A, Lunsford LD. Radiosurgery for central neurocytoma. *Prog Neurol Surg* 2019;34:232–7. <https://doi.org/10.1159/000493069>.
- [33] Rades D, Schild SE, Ikezaki K, Fehlaue F. Defining the optimal dose of radiation after incomplete resection of central neurocytomas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;55:373–7. [https://doi.org/10.1016/s0360-3016\(02\)03918-4](https://doi.org/10.1016/s0360-3016(02)03918-4).

- [34] Rades D, Schild SE. Is 50 Gy sufficient to achieve long-term local control after incomplete resection of typical neurocytomas? *Strahlenther Onkol* 2006;182:415–8. <https://doi.org/10.1007/s00066-006-1522-z>.
- [35] Rades D, Schild SE. Treatment recommendations for the various subgroups of neurocytomas. *J Neurooncol* 2006;77:305–9. <https://doi.org/10.1007/s11060-005-9047-3>.
- [36] Garcia RM, Ivan ME, Oh T, Barani I, Parsa AT. Intraventricular neurocytomas: a systematic review of stereotactic radiosurgery and fractionated conventional radiotherapy for residual or recurrent tumors. *Clin Neurol Neurosurg* 2014;117:55–64. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2013.11.028>.
- [37] Lubrano V, François P, Loundou A, Vasiljevic A, Roche P-H, French Society of Neurosurgery. Outcomes after surgery for central neurocytoma: results of a French multicentre retrospective study. *Acta Neurochir* 2013;155:1261–9. <https://doi.org/10.1007/s00701-013-1732-y>.
- [38] Rades D, Fehlaue F, Lamszus K, Schild SE, Hagel C, Westphal M, et al. Well-differentiated neurocytoma: What is the best available treatment? *Neuro-Oncol* 2005;7:77–83. <https://doi.org/10.1215/S1152851704000584>.
- [39] Qian H, Lin S, Zhang M, Cao Y. Surgical management of intraventricular central neurocytoma: 92 cases. *Acta Neurochir* 2012;154:1951–60. <https://doi.org/10.1007/s00701-012-1446-6>.
- [40] Rades D, Schild SE. Value of postoperative stereotactic radiosurgery and conventional radiotherapy for incompletely resected typical neurocytomas. *Cancer* 2006;106(5):1140-3.
- [41] Söylemezoglu F, Scheithauer BW, Esteve J, Kleihues P. Atypical central neurocytoma. *J Neuropathol Exp Neurol* 1997;56:551–6. <https://doi.org/10.1097/00005072-199705000-00011>.
- [42] Rades D, Fehlaue F, Schild SE. Treatment of atypical neurocytomas. *Cancer* 2004. 15;100(4):814-7.
- [43] Bui TT, Lagman C, Chung LK, Tenn S, Lee P, Chin RK, et al. Systematic analysis of clinical outcomes following stereotactic radiosurgery for central neurocytoma. *Brain Tumor Res Treat* 2017;5:10–5. <https://doi.org/10.14791/btrt.2017.5.1.10>.
- [44] Vasiljevic A, François P, Loundou A, Fèvre-Montange M, Jouvet A, Roche P-H, et al. Prognostic factors in central neurocytomas: a multicenter study of 71 cases. *Am J Surg Pathol* 2012;36:220–7. <https://doi.org/10.1097/PAS.0b013e31823b8232>.

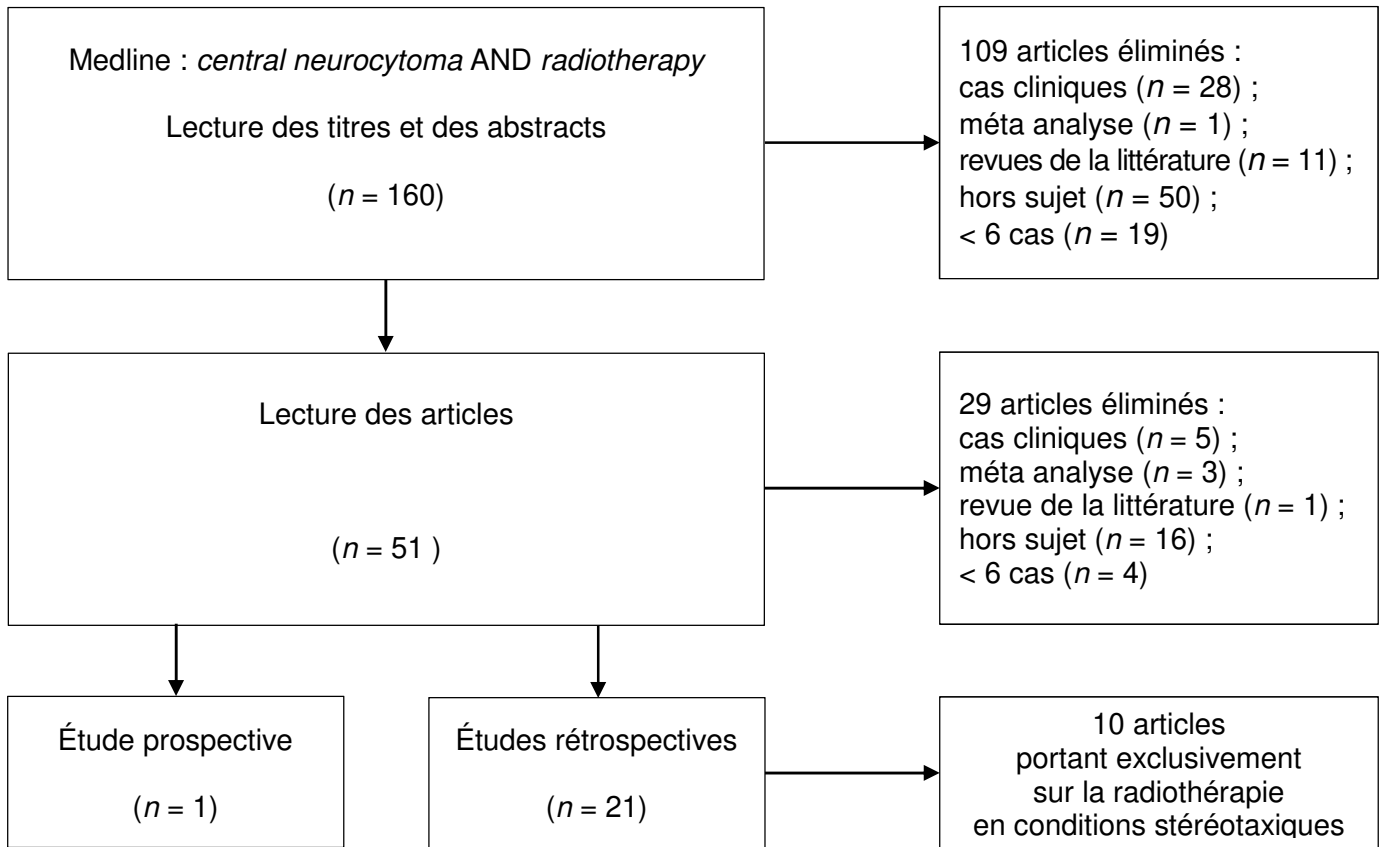


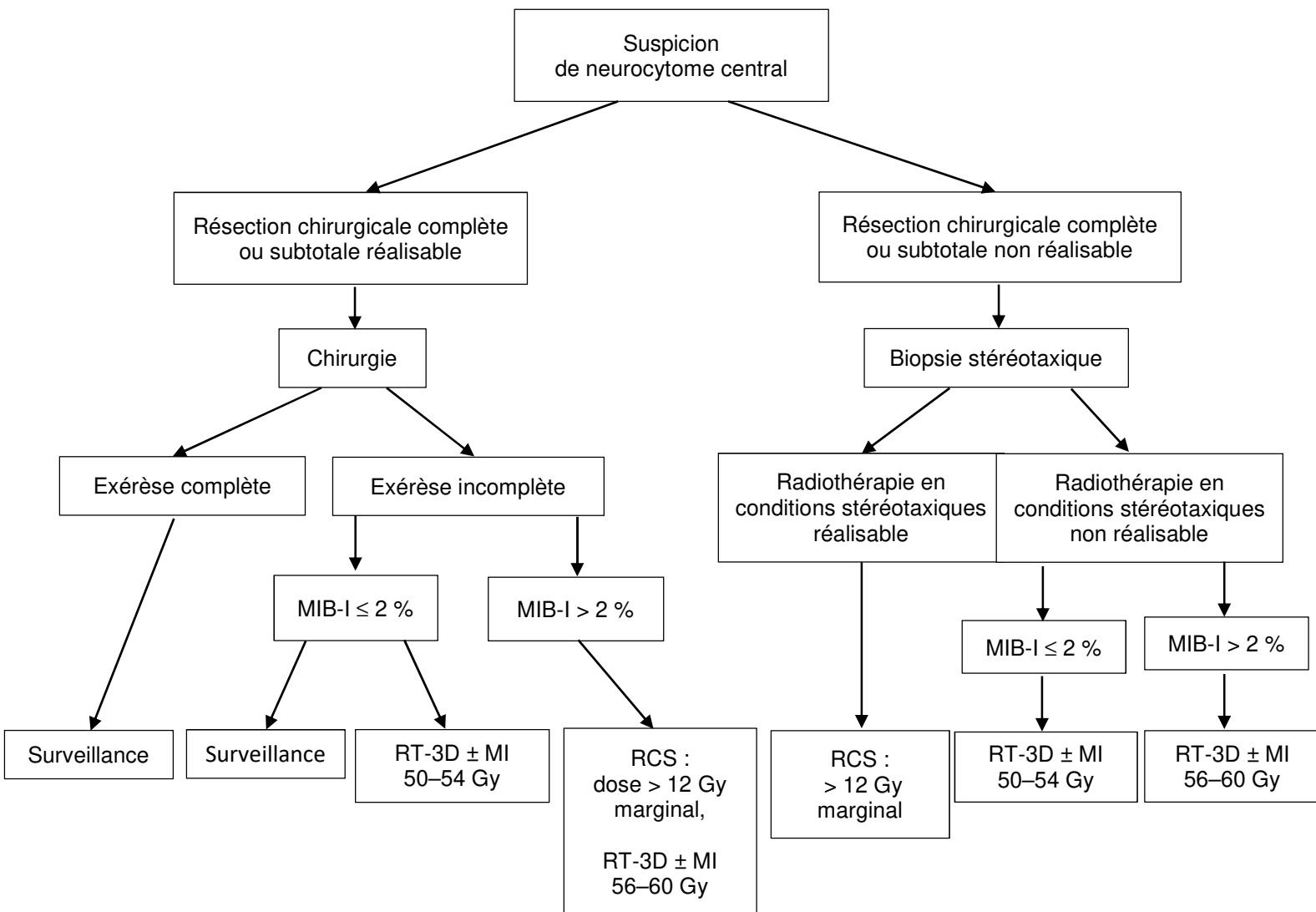
- [45] Soussain C, Ricard D, Fike JR, Mazon J-J, Psimaras D, Delattre J-Y. CNS complications of radiotherapy and chemotherapy. *Lancet* 2009;374:1639–51. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61299-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61299-X).
- [46] Moretti R, Torre P, Antonello RM, Cattaruzza T, Cazzato G, Bava A, et al. Neuropsychological evaluation of late-onset post-radiotherapy encephalopathy: a comparison with vascular dementia. *J Neurol Sci* 2005;229–230:195–200. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2004.11.027>.
- [47] Dikel TN, Fennell EB, Nadeau SE, Quisling RG, Mickle JP, Friedman WA. A neuropsychological outcome study of a child's left pericallosal arteriovenous malformation with occult fornix lesion. *Neurocase* 2001;7:503–13. <https://doi.org/10.1093/neucas/7.6.503>.
- [48] Durand T, Jacob S, Lebouil L, Douzane H, Lestaevel P, Rahimian A, et al. EpiBrainRad: an epidemiologic study of the neurotoxicity induced by radiotherapy in high grade glioma patients. *BMC Neurol* 2015;15:261. <https://doi.org/10.1186/s12883-015-0519-6>.

## **Légendes des figures**

**Figure 1.** Revue de la littérature afin de déterminer la place et les modalités de la radiothérapie dans la prise en charge des neurocytomes : modalités de sélection des articles.

**Figure 2.** Arbre décisionnel proposé pour la prise en charge des neurocytomes centraux en dehors d'effet de masse ou de compression cérébrale importante et/ou d'hydrocéphalie nécessitant un acte chirurgical. MI : avec modulation d'intensité ; RCS : radiothérapie en conditions stéréotaxiques ; RT-3D : radiothérapie conformationnelle tridimensionnelle.





**Tableau 1.** Revue de la littérature sur la place et les modalités de la radiothérapie dans la prise en charge des neurocytomes : critères d'études dans les 22 articles sélectionnés selon la méthode Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA), données générales.

	Nombre de patient	Genre	Âge	Symptômes	Délais entre les symptôme et le traitement	Localisation	Nombre de patients opérés	Qualité de la chirurgie (exérèse macroscopiquement complète, exérèse subtotale)	Récidive après traitement chirurgical seul	Récidive symptomatique
Lenzi et al. (2006) [11]	d	d	d	d	d	d	d	d	d	nd
Chen et al. (2014) [12]	d	d	d	d	nd	d	d	d	nd	nd
Imber et al. (2015) [13]	d	d	d	nd	nd	d	d	d	nd	nd
Schild et al. (1997) [14]	d	d	d	d	nd	d	d	d	nd	nd
Leenstra et al. (2007) [15]	d	d	d	d	d	nd	d	d	d	d



Mallick et al. (2015) [23]	d	d	d	d	d	d	d	d	nd	nd
Kim et al. (2013) [24]	d	d	d	d	nd	nd	d	d	d	nd
Yen et al. (2007) [25]	d	d	d	d	d	d	d	d	d	nd
Matsunaga et al. (2010) [26]	d	d	d	nd	nd	d	d	d	d	nd
Chen et al. (2011) [27]	d	d	d	d	nd	nd	d	nd	nd	nd
Genc et al. (2011) [28]	d	d	d	d	nd	nd	d	nd	nd	nd
Karlsson et al. (2012) [29]	d	d	d	nd	nd	nd	d	d	d	nd

Monaco et al. (2015) [30]	d	d	d	nd	nd	nd	d	nd	nd	nd
Yamanaka et al. (2016) [31]	d	d	d	d	nd	d	d	d	d	nd
Nakamura et al. (2019) [32]	d	d	d	d	nd	d	d	d	d	nd
Total	100%	100%	100%	73%	36%	59%	100%	82%	55%	18%

d : défini ; nd : non défini.



**Tableau 2.** Revue de la littérature sur la place et les modalités de la radiothérapie dans la prise en charge des neurocytomes : critères d'études dans les 22 articles sélectionnées selon la méthode Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA), données de radiothérapie et de suivi.

Étude	Nombre de patients irradié	Nombre d'irradiation	Type de radiothérapie	Dose	Effet secondaire de la radiothérapie	Suivi	Taux de contrôle local	Taux de survie	Total
Lenzi et al. (2006) [11]	d	d	d	nd	nd	d	d	d	83%
Chen et al. (2014) [12]	d	d	d	d	d	d	d	d	83%
Imber et al. (2015) [13]	d	d	d	d	nd	d	d	d	72%
Schild et al. (1997) [14]	d	d	d	d	nd	d	d	d	78%
Leenstra et al. (2007) [15]	d	d	d	d	d	d	d	d	94%
Hallock et al. (2011) [16]	d	d	d	d	d	d	d	d	100%
Kim et al. (2013) [17]	d	d	d	d	nd	d	d	d	61%
Wang et al. (2017) [18]	d	d	d	nd	nd	d	d	d	83%



Monaco et al. (2015) [30]	d	d	d	d	d	d	d	d	67%
Yamanaka et al. (2016) [31]	d	d	d	d	d	d	d	d	89%
Nakamura et al. (2019) [32]	d	d	d	d	d	d	d	d	89%
Total	100%	100%	100%	91%	55%	100%	100%	100%	

d : défini ; nd : non défini

**Tableau 3.** Principales séries de cas étudiant la radiothérapie fractionnée pour les neurocytomes centraux.

Étude	Chirurgie	Résection complète	Radiothérapie adjuvante	Radiothérapie après exérèse macroscopiquement complète	Radiothérapie après exérèse subtotale	Radiothérapie exclusive	Radiothérapie pour récurrence	Récurrence après radiothérapie	Suivi (mois)	Taux de survie globale à 5 ans	Taux de contrôle local à 5 ans
Schild et al. (1997) [14]	32	10	13	5	8	0	2	0	57 (médian)	81%	79%
Kim et al. (1997) [19]	15	8	7	2	5	0	1	1	52 (moyen)	nd	nd
Sharma et al. (1999) [20]	20	14	15	11	4	0	0	0	31 (moyen)	nd	nd
Kulkarni et al. (2002) [22]	0	0	0	0	0	8	0	1	78 (moyen)	88%	88%
Lenzi et al. (2006) [11]	20	10	6	0	6	0	1	3	84 (moyen)	nd	nd
Leenstra et al. (2007) [15]	43	21	14	6	8	2	4	0	120 (médian)	83%	67%

Hallock et al. (2011) [16]	19	9	1	0	1	0	3	1	104 (médian)	nd	nd
Kim et al. (2013) [17]	48	24	7	2	5	0	0	0	119 (moyen)	93%	nd
Chen et al. (2014) [12]	61	24	61	24	37	2	1	3	70 (médian)	96,6%	96,5%
Imber et al. (2015) [13]	28	9	4	1	3	0	0	0	61 (moyen)	96%	54%
Mallick et al. (2015) [23]	16	8	17	8	9	1	0	1	35 (médian)	nd	nd
Wang et al. (2018) [18]	63	34	14	2	12	0	nd	1	74 (médian)	93%	74%
Total	365	171	159	61	98	13	12	11			

nd : non disponible

**Tableau 4.** Principales études de radiothérapie en conditions stéréotaxiques pour les neurocytomes centraux.

Étude	Nombre de patients	Radiothérapie en conditions stéréotaxiques						Récidive	Taux de contrôle local après radiothérapie en conditions stéréotaxiques	Taux de survie globale après radiothérapie en conditions stéréotaxiques	Délai de surveillance (moyen)	Nombre de radiothérapie en conditions stéréotaxiques par GammaKnife	Accélérateur linéaire
		Nombre de traitements	Adjuvante	Après exérèse macroscopiquement complète	Après exérèse subtotale	Exclusive	Pour récurrence						
Kim et al. (2007) [21]	13	13	7	0	7	6	0	2	85% (brut)	nd	61 mois	13	0
Yen et al. (2007) [25]	7	9	4	0	4	0	5	2	nd	nd	10,5 mois	9	0
Matsunaga et al. (2010) [26]	7	9	7	0	7	0	2	1	85,7% (brut)	nd	63,6 mois	8	1
Chen et al. (2011) [27]	14	14	13	0	13	1	0	0	100% (brut)	100% (brut)	70 mois	14	0
Genc et al. (2011) [28]	22	22	nd	nd	nd	4	nd	1	95% (brut)	nd	35,8 mois	22	0
Karlsson et al. (2012) [29]	42	42	33	0	33	7	2	4	91% à 5 ans	nd	60 mois	42	0
Kim et al. (2013) [17]	20	20	nd	nd	nd	10	nd	6	70% (brut)	nd	103 mois	19	1

Monaco et al. (2015) [30]	8	8	4	0	4	0	4	1	87,5% (brut)	100 % (brut)	63,3 mois	8	0
Yamanaka et al. (2016) [31]	36	36	23	0	23	3	10	2	95% à 5 ans	97% à 5 ans	54 mois	36	0
Nakamura et al. (2019) [32]	10	11	5	0	5	0	5	0	100% (brut)	100 % (brut)	10,5 mois	11	0
Total	179	184	96	0	96	31	28	19				182	2

nd : non disponible.